த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண் — 516

# ராடார் வானியல்

ஆசிரியர்
கேப்டன் எம். தர்மலிங்கம், எம்.ஏ., எம்.எஸ்ஸி.,
க. செங்கோட்டையன், எம்.எஸ்ஸி.,
இயற்பியல் துணைப் பேராசிரியர்கள்,
மன்னர் சரபோஜி அரசினர் கல்லூரி,
தஞ்சாவூர்.



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—October, 1973

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 516



**RADAR ASTRONOMY**

Captain M. DHARMALINGAM and
K. SENGOTTAIYAN

**Price Rs. 14-00**

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.'

*Printed by*
KUMARAN PRESS,
298, Mint Street,
Madras-600001.

# அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதின்மூன் றாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக் கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டி லிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற் கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டு தோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'ராடார் வானியல்' என்ற இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 516 ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 551 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

# முன்னுரை

ராடார் வானியலின் வளர்ச்சி, ராடாரின் முன்னேற்றத்துடன் நெருங்கிய தொடர்புள்ளது. இவை இரண்டிற்குமே சர் எட்வர்டு ஆப்பிள்டன் என்பவரின் ஆராய்ச்சிகளே மூலக்காரணங்கள் என்று கூறலாம். அவர் முதலில் ராடார் சைகைகளைக் கொண்டு பூமியின் வளி மண்டலத்தை ஆராய்ந்தார். இரண்டாவது உலகப் போரின்போது மைக்ரோ அலை ராடாரில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்கள் இத் துறையை மேலும் விருத்தி செய்தன. உலகப் போருக்குப்பின், எதிரிகளின் குண்டு வீச்சுகளிலிருந்து பாதுகாத்துக் கொள்வதற்கு, குறிப்பாக கண்டம் விட்டுக் கண்டம் பாயும் (Intercontinental Ballistic Missiles) எறிபொருள்களிலிருந்து பாதுகாத்துக் கொள்வதற்கு ராடார் பயன்படுகிறது. இப்பொழுது இந்த ராடாரைக் கொண்டு நிலா, சூரியன் மற்றக் கோள்கள் ஆகியவற்றையும் ஆராய்கின்றனர்.

ராடார் வானியல் 1946-ல் தோன்றியதாகக் கூறலாம். ஏனெனில், இவ்வாண்டில்தான் நிலாவை முதன் முதலாக ராடாரைக் கொண்டு ஆராய முடிந்தது.

1960-ல் சூரியனிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புப் பெறப்பட்டதும், 1962-ல் புதனிலிருந்து எதிரொளிப்புகள் பெறப்பட்டதும், 1963-ல் செவ்வாயிலிருந்து எதிரொளிப்புகள் பெறப்பட்டதும் முக்கிய நிகழ்ச்சிகளாகும். தொடக்கத்தில் ராடாரைக் கொண்டு கோள்களைக் காண்பதும், பூமியிலிருந்து அவற்றின் தூரங்களைக் கணிப்பதுமே குறிக்கோளாக இருந்தன. ஆனால், உலகின் பல நாடுகளிலும் இத் துறையில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்கள் காரணமாக இக் கோள்களின் புறப்பரப்புத் தன்மை, வளிமண்டிலம் ஆகியவற்றைப் பற்றிய உண்மைகளையும் அறிய முடிந்தது. இத்தகைய பல்வேறு உண்மைகளும் இந் நூலில் ஆங்காங்கு கூறப்பட்டுள்ளன.

ஒரு கோளினால் எதிரொளிக்கப்படும் ராடார் சைகை (signal) சூரிய ஈர்ப்புப் புலத்தில் செல்லும்பொழுது காணப்படுகின்ற

முரணிய தாமதத்தைக் (anamolous delay) கணித்து, பொதுச் சார்புக் கொள்கைக்கு (general relativity) ஒரு நான்காவது சோதனையையும் கொடுத்துள்ளனர். மிக அதிகமான ஈர்ப்பு மின்னழுத்தத்தில் ஓர் அலை மெதுவாகச் செல்லும் என்று பொதுச் சார்புக் கொள்கை கூறுகின்றது. இதன்படி சைகையின் பயண நேரம் கணிசமாக அதிகரிக்கும். சூரியனின் சேய்மை நிலையில் கோள்களின் இருப்பிடத்தைக் கணித்து இதை நிரூபித்துள்ளனர். இது ராடார் வானியலில் மிகச் சிறந்த சாதனையாகும்.

இவைகளைப் பற்றி எல்லாம் இந் நூலில் முடிந்த அளவு கூறப்பட்டுள்ளது. இந்த நூலை முழுமையாக உணர்ந்து கொள்வதற்கு ஒருவர் சிறிதளவாவது வானியலைப் பற்றியும், ராடாரைப் பற்றியும் அறிந்திருக்க வேண்டும். இத்தகைய கருத்துடன், ராடார் வானியலைப் பற்றி விரிவாகக் கூறுவதற்கு முன்பாகத் தொடக்கத்தில் ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்ட ஒளியியல் வானியலைப் பற்றியும், ராடார் வானியலின் முன்னோடியான ரேடியோ வானியலைப் பற்றியும் முதலில் எளிய நடையில், சுருக்கமாகக் கூறப்பட்டுள்ளது. பிறகு. ராடாரைப் புரிந்துகொள்ளத் தேவையான செய்திகள் யாவும் ஒரு சில பகுதிகளில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. இறுதியாக நிலா, சூரியன், புதன், வெள்ளி, செவ்வாய், வியாழன், சனி ஆகிய கோள்களைப் பற்றிய ராடார் கண்டுபிடிப்புகள் விளக்கமாகக் கூறப்பட்டுள்ளன. மேசரைப் பற்றியும், சாராமாறிப் பெருக்கிகளைப் (Parametric Amplifiers) பற்றியும் அவை இத் துறையில் பயன்படுவதன் காரணமாகச் சுருக்கமாகக் கூறப்பட்டுள்ளது. இத் துறைக்கே உரித்தான பெருக்கிகள், ஆன்டென்னாக்கள், ஏற்பிகள், பரப்பிகள் ஆகியவற்றைப் பற்றியும் கூறப்பட்டுள்ளன. விரிவாகத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும் என்ற ஆர்வமுடையவர்களுக்கு ஆறு பிற்சேர்க்கைப் பகுதிகளும், எல்லோருக்கும் பயன்படும்படி அட்டவணைகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மா. தர்மலிங்கம்,
க. செங்கோட்டையன்.

# பொருளடக்கம்

# 1. வானியல் — அறிமுகம்

## (Astronomy — Introduction)

விண்மீன்களைப்பற்றி மக்கள் பன்னெடுங்காலமாகவே ஆராய்ந்து வந்திருக்கின்றனர். அவைகளில் எழுத்து மூலமாக நமக்குக் கிடைப்பவை வானியற் பகுதிகளில் உள்ளனவாகும். பண்டைக் காலத்தில் வானியல் நிபுணர்கள் (Astronomers) மதக்குருமார் களாகவும் இருந்தனர். இவர்களால் 2000 *B. C.*-ல் பாபிலோனியன் நாகரிக காலம் எனப்பட்ட காலத்தில் பொறிக்கப்பட்ட கல்வெட்டு கள் அக்காலத்தில் இவர்கள் விண்மீன்களை ஆராய்ந்த முறைகளை விளக்குகின்றன. அவர்கள் எவ்வாறு ஓர் ஆண்டைப் பன்னிரண்டு மாதங்களாகப் பகுத்தனர் என்பதையும். சூரியன் பன்னிரண்டு பிரிவுகளிடையே எவ்வாறு செல்லுகின்றது என்பதையும் இந்தக் கல்வெட்டுகள் விளக்குகின்றன. சுமார் 500 *B. C.*-ல் கிரேக்கம், சீனு, பாபிலோன், இந்தியா ஆகிய நாடுகளின் வானிலை ஆராய்ச்சி யாளர்கள் வானிலுள்ள கோள்களின் இயக்கத்தை ஆராய்ந்து சூரியக் கிரகணங்களை (Solar Eclipses) முன் கூட்டியே அறிவிக்கும் ஆற்றலைப் பெற்றிருந்தனர்.

கிரேக்க நாகரிகத்தின் உயிர் நாடியே வானியலில் இருந்தது. தேல்ஸ் (Thales), அரிஸ்டார்கஸ் (Aristarches), பிதாகரஸ் (Pythagoras), டாலமி (Ptolemy) போன்ற தத்துவ ஞானிகள் வானத்தின் மர்மத்தை விளக்க முற்பட்டனர். அவர்கள் முக்கிய மாகச் சூரியனைப் பற்றியும், சூரிய குடும்பத்தைப் பற்றியும் ஆராய்ந்தனர். ஏனெனில், அவர்கள் சூரியனே பூமியைச் சுற்றி வருவதாக நம்பினர். இந்தத் தவறான கருத்து சுமார் 1500 ஆண்டுகள் நிலவியதாகத் தெரிகிறது. பிறகு மிகக் குறுகிய காலத்தில், அதாவது சுமார் 200 ஆண்டுகளில் மனிதன் கோள் களைப் பற்றிக் கணிசமான அளவு தெரிந்து கொண்டுவிட்டான். கோபர்னிக்கஸ் (Copernicus), கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றி வருகின்றன என்பதை ஆதாரத்துடன் விளக்கினர். கெப்லர்

(Kepler), கோள்களின் பாதைகள் நீள்வட்டங்கள் (Ellipses) என நிறுவினார். நியூட்டன் (Newton), கோள்கள் தங்கள் பாதையில் சூரியனின் ஈர்ப்பு விசையால் நகர்கின்றன என்பதை நிரூபித்தார்.

கலிலியோ, தொலை நோக்கியைக் கொண்டு வானத்தை ஆராய்ந்து பலப் புதிய உண்மைகளைக் கண்டுபிடித்தார். அவர் முதன் முதலில் சூரிய குடும்பத்தை—அதாவது சூரியன், சூரியனின் புள்ளிகள் (Sunspots) வியாழன் (Jupiter), வியாழனின் துணைக் கோள்கள், சனி (Saturn) அதன் வளையங்கள், வெள்ளி (Venus) ஆகியவற்றை ஆராய்ந்தார்.

இங்கிலாந்து நாட்டில் முதல் பெரிய தொலை நோக்கி செய்யப் படும் வரை, வானியல் ஆராய்ச்சி சூரிய குடும்பத்தைப் பற்றி மட்டுமே நடந்து வந்தது. பதினெட்டாம் நூற்றாண்டின் பிற் பகுதியில் ஹெர்ஷல்ஸ் (Herschels) என்ற விஞ்ஞானிகள் 48 அங்குல இடையிடம் (aperture) உடைய தொலை நோக்கியைக் கொண்டு வான்வெளியை ஆராய்ந்தனர். வான்வெளி விண் மீன்கள் அடங்கிய கூட்டம்; அவைகளின் பொது மையத்தைப் பொருத்து அவை ஓடிக் கொண்டிருக்கின்றன என்ற முடிவுக்கு வந்தனர். 1845-ல் ராஸ் (Ross) என்ற விஞ்ஞானி தமது 84 அங்குலம் இடையிடமுடைய எதிரொளிப்புத் தொலை நோக்கியைக் (reflecting telescope) கொண்டு சுருள் நெபுலாவை (spiral nebula) ஆராய்ந்து, அது சுழன்று கொண்டு இருக்கின்ற அநேக விண்மீன் களாலான கூட்டம் என்றும். ஒளிர்கின்ற பொருளாலானது என்றும் கண்டார். இம் மாதிரி பல நெபுலாக்கள் கண்டுபிடிக்கப் பட்டன. இருந்த போதிலும் 1920 வரையில் இவைகளைப் பற்றி முழுமையாக நமக்குத் தெரியவில்லை. குறிப்பாக நமது பூமியி லிருந்து இந்த நெபுலாக்கள் உள்ள தூரம், பல்வேறு நெபுலாக்களுக் கிடையே உள்ள தூரங்கள் ஆகியவைகளைப் பற்றி நமக்கு ஒன்றும் தெரியவில்லை. பிறகுதான் இந்த நெபுலாக்கள் விண்மீன்களின் கூட்டம் என்பதும், நமது பால் வழியைப் (Milky way) பல விதத் திலும் ஒத்தவை என்பதும் தெரிய வந்தது. இவைகளில் காணப் பட்ட விந்தை என்னவெனில், இவையாவும் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று நீங்கிச் சென்று கொண்டே இருந்தன. பின் பத்தாண்டுகளுக்குப் பிறகு ரேடியோ வானியல் (Radio astronomy) தோன்றியது. இப் பிரிவு வானிலை ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு மிகவும் பயனுடையதாக அமைந்தது. இதனால் வான்வெளியில் ரேடியோ அலைகள் (Radio waves) அடங்கியுள்ளன என்பது புலனாயிற்று. இந்த அலைகள் ஒளி அலைகளைப் போலவே மின்காந்த அலைகளாகும் (Electro magnetic waves). ஆனால் இவைகளின் அலை நீளங்கள்

ஒளி அலைகளின் நீளங்களைப் போல் மில்லியன் பங்குகள் அதிக மாகும்.

1931-ல் கார்ல் ஜான்ஸ்கி (Karl Jansky) என்பவர் பெல் தொலைபேசி ஆராய்ச்சிக் கூடத்தில் (Bell telephone laboratory) தொலை பேசியில் செய்தி அனுப்பும் முறையில் வளி மண்டல இடை யூறுகளைப் பற்றி ஆராய்ந்தார். அவருடைய ஆராய்ச்சியின் பயனாக, தொலைவிலும், அண்மையிலும் நிகழ்கின்ற பேரிடிகள் தொலைபேசியில் செய்தி அனுப்பும் முறையை வெகுவாகப் பாதிப்ப தாக அறியப்பட்டது. இத்துடன் நாள் முழுவதும் ஒரு மெல்லிய இரைச்சல் (hiss) கேட்கப்பட்டது. இதை ரேடியோ இரைச்சல் (Radio noise) என அழைத்தார். இந்த இரைச்சல் பூமி, சூரியன் ஆகியவைகளுக்கப்பால் விண்மீன்களின் கூட்டத்தில் ஒரு குறிப் பிட்ட பகுதியிலிருந்து வருவதாக 1932-ல் அவர் நிரூபித்தார். இந்த இரைச்சலில் மிக அதிகமான பகுதி தனுசு (Sagittarius) ராசியிலிருந்து வருவதாக அறிவித்தார். இந்தத் தனுசில் விண் மீன் மண்டல ஒளி வீதியின் மையம் உள்ளது என்றும், இதிலிருந்து வெளிவரும் ரேடியோ அலைகள் தாங்கள் கிளம்பிய நேரத்திலிருந்து 25,000 ஆண்டுகள் கழித்து பூமியை அடைகின்றன என்றும் தெரிகிறது. இந்தக் கண்டுபிடிப்பு ரேடியோ பொறியாளருக்கு (Radio engineers) வியப்பையும், வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு குழப்பத்தையும் உண்டு பண்ணியது. விண்மீன்களோ அல்லது அண்டவெளியிலுள்ள வேறு எந்தப் பொருளோ இவ்வளவு ரேடியோ ஆற்றலை வெளியிட முடியாது. இருந்தபோதிலும், வானி யல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் இதைத் தொடர்ந்து ஆராயவில்லை. நீண்ட காலத்திற்குப் பின் வானூராய்ச்சிக்குப் புதிதாக வந்தவர் களும், இரண்டாம் உலகப் போரின்பொழுது தற்செயலாகக் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட உண்மைகளுமே இவற்றைப் பற்றி விளக்கமாகக் கூற முடிந்தன.

இரண்டாவது உலகப் போரின் பொழுது ரேடியோ தொழில் நுணுக்கத்தில் புதிய முன்னேற்றங்கள் தோன்றின. மிக நுட்பம் வாய்ந்த ஏற்பிகளும் (Receivers), ராடார் தொழில் நுட்பத்தில் சிறந்த முன்னேற்றங்களும் தோன்றின. 1942-ல் சூரியனிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகள் ராடார் ஏற்பியில் அறியப்பட்டன. இந்த ரேடியோ சைகைகள் (Radio signals) ராடார் பரப்பியிலி ருந்து (Radar transmitters) அனுப்பப்பட்டவையல்ல; மாறாக, சூரியனிலிருந்து இவை பெருமளவில் வெளியிடப்படுகின்றன. பிற் காலத்தில் உலகப்போரின்பொழுது முற்றிலும் ஒரு புதிய விளைவு அறியப்பட்டது. இம் முறையில் வானிலுள்ள பொருள்களினால் திருப்பி அனுப்பப்பட்டு சைகைகளை ஏற்க முடிந்தது. எரி நட்சத்

திரங்கள் (meteors) பூமியின் வளிமண்டலத்தில் நுழையும் பொழுதும் இத்தகைய சைகைகள் வெளிவிடப்படுவதாக அறியப் பட்டது. இதிலிருந்துதான் ரேடியோ வானியலின் (Radio Astronomy) இரண்டாவது பகுதியான ராடார் வானியல் (Radar Astronomy) தோன்ற ஆரம்பித்தது. இந்த ராடார் வானியல் அண்டவெளியிலுள்ள கோள்கள், விண்மீன் கூட்டங்கள், எரி நட்சத்திரங்கள் ஆகியவற்றை ரேடியோ எதிரொளிப்புத் (Radio echo) தொழில் நுணுக்க முறையைப் பயன்படுத்தித் துருவு கின்றது. ரேடியோ வானியலில் விரிவான ஆராய்ச்சி உலகத்தி லுள்ள பெரிய நாடுகள் பலவற்றிலும் இப்போது நடைபெறுகின்றது. இவற்றிலிருந்து பேரண்டத்தைப் பற்றிய பல புதிய உண்மைகள் தெளிவாகியுள்ளன.

ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களின் பேரண்டம் (universe) மற்ற ஆராய்ச்சியாளர்களின் அண்டத்திலிருந்தும் மாறுபட்டது. 100 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் (100 Mc/s), ரேடியோ அண்டம் சூரியனைப்போல் பத்துமடங்கு ஒளி பொருந்திய தாகத் தோன்றுகிறது. நமது கண்ணிற்குப் புலப்படுவதைப்போல் அல்லாமல் ரேடியோ சூரியன் அடிக்கடி மாறிக்கொண்டே இருக்கிறது. சூரியன் சில சமயங்களில் திடீரென ஆற்றலை வெளித் தள்ளும்பொழுது அதனுடைய மொத்த ஆற்றல் ஒரு சில விநாடி களில் பல ஆயிரம் மடங்குகள் அதிகரிக்கின்றது. மேலும், சூரியன் வட்டமாக இல்லாமல் நீள்வட்ட வடிவமாக உள்ளது எனவும் புலனாகிறது. ஒளியியல் வானாராய்ச்சிக்கும் (Optical Astronomy) ரேடியோ வானாராய்ச்சிக்கும் பல்வேறு வேறுபாடுகள் உண்டு. ஒளியியல் வானாராய்ச்சி முறையில் பயன்படும் புள்ளி ஒளி மூலங் களுக்குப் பதிலாக, (Instead of point sources) ரேடியோ வானா ராய்ச்சி முறையில் அகன்ற ஒளி மூலங்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இந்த ஒளி மூலங்களில் பல, பருமனிலும், செறிவிலும் ஏறக்குறைய ரேடியோ சூரியனை ஒத்தவை. இவை அண்ட வெளியில் பன்னெடுங்காலமாக வலம்வந்து கொண்டிருக்கின்றன. இவைகள் நீண்ட காலத்திற்கு முன்பு மிக அதிக வெப்ப நிலையில் சுழன்று கொண்டிருந்த ஒரு வாயுக்கோளம் (gaseous sphere) வெடித்து வந்திருக்க வேண்டுமென்று கருதப்படுகிறது. இப்படி எண்ணிறந்த மிகப்பெரிய பொருட்கள் அதிவேகத்தில் சுழன்று கொண்டு ஒன்றையொன்று மோதாமல் அண்டவெளியில் ஒன்றை ஒன்று விட்டு விலகிச் சென்று கொண்டே இருப்பது விந்தையிலும் விந்தையாகும். இவற்றைப்பற்றி அறிய சுமார் பத்து ஆண்டு களுக்குள் தொடங்கப்பட்ட ராடார் வானியல் பெரிதும் துணை புரிகிறது. ராடார் வானியலைப் பற்றிப் புரிந்து கொள்வதற்கு

ஒளியியல் வானியல், ரேடியோ வானியல், ராடார், குறுக்கீட்டு விளைவுமானிகள் (Interferometers) ஆகியவற்றைப் பற்றியும் ஓரளவு தெரிந்து கொள்ள வேண்டும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. The Exploration of space by Radio Waves

   *—By Brown, R. Hambury and Lovell.*

2. Radio Astronomy

   *—By Pawsey, J. L. and Bracewell, R. N.*

# 2. ஒளியியல் வானியல்

## (Optical Astronomy)

பேரண்டம் ஏறத்தாழ ஒரு முடிவில்லாத, வெற்றிடமாகும். அதில், ஆங்காங்கு பொருள் குவிந்துள்ளது. இக் குவியல்கள் அடர் குறைந்த துகள் கூட்டங்களாகவும், ஹைடிரஜன் வாயுக் களாகவும், விண்மீன்களாகவும், விண்மீன் கூட்டங்களாகவும் பரிணமிக்கின்றன. சூரியன் ஒரு சாதாரண விண்மீனாகும். சூரியனை ஓர் ஒளிக் குறைந்த விண்மீன் என்றுகூடச் சொல்லலாம். நாம் வசிக்கும் பூமி, இந்தச் சூரிய குடும்பத்தின் மிகச் சிறிய உறுப்புகளில் ஒன்றாகும்.

பேரண்டத்திலுள்ள பொருள் எல்லாவற்றையும் அண்ட வெளியில் ஒரே சீராக நிரப்பினால், அடர்த்தி $10^{-29}$ கிராம்/கன செ. மீ. இருக்கும். இந்த மிகக் குறைந்த அடர்த்தி ஒரு கன மீட்டருக்கு ஆறு ஹைடிரஜன் அணுக்களுக்கு ஒப்பாகும். துகள் மேகங்கள், வாயுக்கள், விண்மீன்கள், விண்மீன் கூட்டங்கள் ஆகியவை வானியல் ஆராய்ச்சிக்கு அடிப்படைப் பொருட் களாகும். இவற்றை, அவை வெளிவிடுகின்ற அல்லது சிதறடிக் கின்ற அல்லது உட்கவர்கின்ற கதிர்வீச்சுகள் மூலமே ஆராய முடியும். இந்த மின்காந்த கதிர்வீச்சு ஒளியின் திசை வேகத்தில், அதாவது 3,00,000 கி.மீ./விநாடியில் (1,86,000 மைல்/விநாடி) செல்கிறது. ஆனால் ஆற்றல் மிக்க நீண்ட அலை நீளத்தில் பரப்பப் பட்டுள்ளது. இந்த அலைகளின் அலை நீளம், காமா கதிர்களின் (Gamma rays) அலை நீளத்திலிருந்து, அதாவது $10^{-11}$ செ. மீட்டரிலிருந்து மிக நீண்ட ரேடியோ அலைகளின் நீளம் வரை, அதாவது 2000 மீட்டர்கள் வரை உள்ளது. இந்தப் பல்வேறு வகைப்பட்ட கதிர் வீச்சுகள் மின்-காந்த நிறமாலையின் (electro-magnetic spectrum) பல்வேறு பகுதிகளாகும். ஏனெனில், ரேடியோ அலைகள் பலவிதத்திலும் கதிர்வீசல், (Radiant heat) ஒளி, *X*-கதிர்களை ஒத்தவை. இவைகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு

அலை நீளம் ஒன்றேயாகும். மின்காந்த நிறமாலையின் அமைப்பு படம் 2·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

படம் 2·1.
மின்காந்த நிறமாலை.

**மின் காந்த நிறமாலை** (Electro magnetic spectrum)

ஒரு வானியல் ஆராய்ச்சியாளர், இந்த மின்காந்த நிற மாலையின் முழுப்பகுதியையும் பயன்படுத்தி பேரண்டத்தை ஆராய முற்படலாம். ஆனால், பூமியின் வளி மண்டலத்தில் உள்ள வாயுக்கள் அதில் இரு பகுதிகளைத் தவிர மற்றெல்லாவற்றையும் உட்கவர்ந்துவிடுகின்றன.* இந்த இரு பகுதிகள் மூலம் மட்டுமே ஆராய்ச்சிகள் செய்யமுடியும். நமது கண்களும், நிழற்படம் பிடிக்கும் கருவிகளும் (cameras) இதில் குறுகிய அலைப் பகுதிகளில் மட்டுமே இயங்குகின்றன. இப் பகுதி பன்னெடுங் காலமாக ஒளி யியல், வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களால் பயன்படுத்தப்பட்டு வந்தது. இப் பகுதியின் குற்றலைப் பகுதியில் கதிர்வீசல், வளி மண்டலத்தின் உயர் பகுதிகளிலுள்ள வாயுவின் அணுக்களால் உட்கவரப்படுகிறது; நெட்டலைப் பகுதியில் கதிர் வீசல், வளி மண்ட லத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் உள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகளால் உட்கவ ரப்படுகிறது. நீண்ட அலை நீளங்களில் இம் மூலக்கூறு வடிவில் உள்ள வாயுக்கள் ஒளி புகக்கூடியனவாய் அமைகின்றன. சென்ற 30 ஆண்டுகளில் இந்த இரண்டாவது பகுதி விரிவாக ஆராயப் பட்டுள்ளது. ஒரு செ. மீ.-க்கும் மேற்பட்ட அலை நீளங்களில் காற்றின் மூலக்கூறுகளினால் ஆற்றல் உட்கவரப்படுவது அவ்வளவு முக்கியமானதல்ல. ஒன்றிலிருந்து பத்து மீட்டர் வரையிலான அலை நீளங்களுக்கு வளிமண்டலம் முற்றிலும் ஒளிபுகக் கூடியதாக அமை கின்றது. பத்து மீட்டருக்கு மேற்பட்ட அலை நீளங்களில் வளி மண்டலத்தின் மேற்பகுதியில் அயனியாக்கமடைந்த வாயுக்கள் தம்மை நோக்கிவருகின்ற ஆற்றலை விலக்கமடையச் செய்கின்றன. இதற்கு மேற்பட்ட அலை நீளங்களில் இவ் வாயுக்கள் ஓர் ஆடி (mirror) போல் அமைந்து தம்மை நோக்கி வருகின்ற கதிர்வீசலைத் திருப்பியனுப்பிவிடுகின்றன.

இந்த அத்தியாயத்தின் மீதிப் பகுதியில் ஒளியியல் வானியலைப் பற்றி விரிவாகக் காண்போம். ஏனெனில், ராடார் வானியல், ரேடியோ வானியல் ஆகியவற்றைப் புரிந்துகொள்வதற்கு ஒளி யியல் வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் கண்டுள்ளபடி நமது கண் ணிற்குப் புலனாகின்ற பேரண்டத்தைப் பற்றியும் நாம் தெளிவாகத் தெரிந்து கொள்ளுதல்வேண்டும்.

**கண்ணிற்குப் புலனாகும் வானியல் பகுதி** (Visual Astronomy)

மேகங்களும், நிலவும் இல்லாத ஓர் இரவில், சுமார் 6000 விண்மீன்களை ஒருவர் தொலைநோக்கியின் உதவியின்றிக் காண முடியும்; பால் வழியிலுள்ள செறிவு குறைந்த பனிபோன்ற பாதை யையும் பார்க்க முடியும். தொலைநோக்கிகளைக் கொண்டு ஆராய்ந்

ததில் வானில் எண்ணிறந்த விண்மீன்கள் இருப்பது புலனுயிற்று. அவை அண்டவெளியில் ஒரே சீராக அமையாமல் சிறுசிறு கூட்டங்களாக அமைந்துள்ளன. இக் கூட்டங்களின் அமைப்பு சமதளப் படுத்தப்பட்ட தட்டை ஒத்திருப்பது புலனுயிற்று. இவற்றிற்கு விண்மீன் கூட்டங்கள் (Galaxies) என்பது பெயர். ஒவ்வொரு கூட்டத்திலும் $10^{10}$-லிருந்து $10^{11}$ வரையில் விண்மீன்கள் உள்ளன.

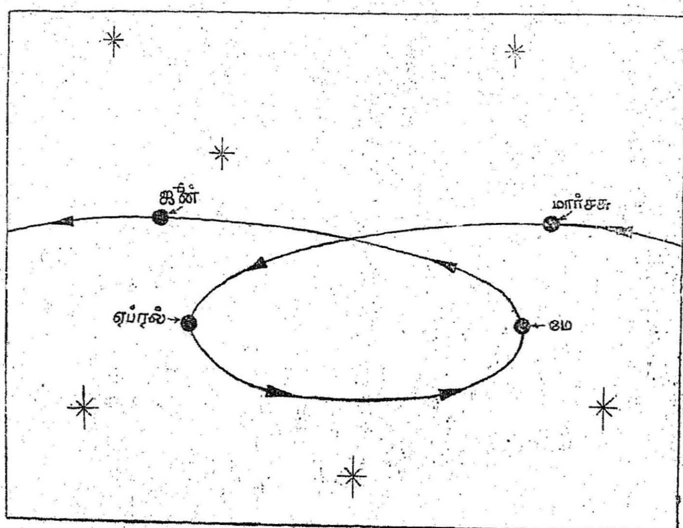
ஒரு வானியல் ஆராய்ச்சியாளர், ஒரு தொலைநோக்கியுடன் கூட, ஒரு நிறமாலைக் காட்டி (spectroscope) யையும் பயன்படுத்துகிருர். இந் நிறமாலைக் காட்டி, ஒளியை அதன் பல வண்ணக் கூறுகளாகப் பிரிக்கின்றது. இந்த வண்ணங்களின் அலை நீளங்களை மிகத் துல்லியமாக அளந்து, அவற்றை வெளிவிடுகின்ற தனிமங்களின் (elements) வெப்பநிலையையும் கணக்கிடலாம். இந் நிறமாலைக் காட்டிகள் ஒவ்வொரு விண்மீனும் மிகப் பெரிய நெருப்புப் பந்தால் ஆனது என்றும், ஒவ்வொரு பந்திலும் ஹைடிரஜன் வாயுவே பெரும்பாலும் உள்ளது என்றும் அறிவித்துள்ளன. சூரியனும், மற்ற விண்மீன்களைப் போன்ற, ஆனுல் மிகமிகச் சாதாரணமான ஒரு விண்மீனுகும். நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் சுமார் பாதிக்கு மேற்பட்டவை சூரியனைவிட அதிக ஆற்றல் உள்ளவை. அவை பூமியிலிருந்து சூரியனைவிட வெகு தொலைவில் இருப்பதால் மிகச் சிறியவையாக இருப்பனபோல் நமக்குத் தோன்றுகின்றன. இவ் விண்மீன்களின் தொலைவைக் குறிப்பிடுவதற்கு ஒரு புதிய அலகு (unit) பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதற்கு ஒளி ஆண்டு (light year) என்பது பெயர். அதாவது ஒளி ஆண்டு என்பது ஒளி ஓர் ஆண்டில் செல்லக்கூடிய தூரமாகும். இத்தூரம் $9{\cdot}5 \times 10^{12}$ கி. மீட்டர்களாகும். சூரியனுக்கு வெகு அருகில் உள்ள விண்மீன் 4·2 ஒளி ஆண்டு தூரத்தில் உள்ளது. சூரியனிலிருந்து நமது பூமி 8·2 ஒளி நிமிடத்தில் (light minutes) உள்ளது.

## சூரிய குடும்பம் (The Solar system)

நெடுங்காலமாக மனிதன் வானவெளியை ஆராய்ந்து வந்திருக்கிருன். வானத்திலுள்ள விண்மீன்களும், கோள்களும் அவனுக்கு என்னவென்றே புரியவில்லை. அவன் அடைந்ததெல்லாம் வியப்பு ஒன்றுதான். ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளாக, சூரியன், சந்திரன் ஆகியவை எழுவதையும், விழுவதையும் படமாக எழுதி வந்திருக்கிருன். ஏன் ? சில விண்மீன்களைக்கூட கணிசமான அளவு ஆராய்ச்சி செய்திருக்கிருன். இந் நிலையில் ஒரு சில விண்மீன்கள் இயங்குவதையும், மற்றவை இயக்கமின்றி

இருப்பதையும் கண்டான். இந்த இயங்குகின்ற விண்மீன்களுக்குக் கோள்கள் (planets) எனப் பெயரிட்டான். தொடக்கத்தில் ஐந்தே கோள்கள் அல்லது சூரியனையும் சந்திரனையும் சேர்த்து ஏழு கோள்கள் மனிதனுக்குத் தெரிந்திருந்தன. இவற்றைப் பற்றி மட்டுமே சுமார் 4000 ஆண்டுகள் வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் ஆராய்ந்து வந்தனர்.

செவ்வாய் (Mars) அல்லது வியாழன் (Jupiter) போன்ற ஒரு கோளை ஆராய்ந்தால் அது செல்லும் திசை மிகமிக மெதுவாக மாறிக்கொண்டே வருவது தெரியும். (படம் 2·2)

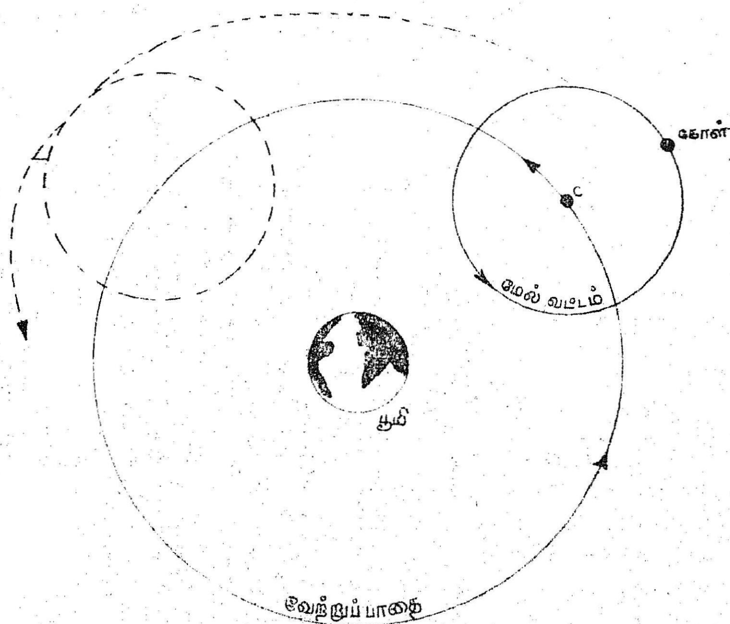



படம் 2·2.
விண்மீன்களுடன் கோளின் தோற்றப் பாதை

தனது இயக்கத்தில் பெரும்பகுதி நேரம் அது மேற்கிலிருந்து கிழக்காகச் சென்றபோதிலும், இடையில் அது ஓய்வில் இருப்பது போலவும் பிறகு எதிர்த் திசையில் அதாவது கிழக்கிலிருந்து மேற்காகச் செல்வதுபோலவும் தோன்றுகிறது. தொடக்கத்தில் வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு இது ஒரு குழப்பமாக இருந்தது. வானத்தில் செல்லும்பொழுது ஒரு கோள் ஏன் தனது இயக்கத்தை நிறுத்தவேண்டும்; ஏன் சிறிது காலம் எதிர்த் திசையில் செல்ல வேண்டும்; ஒரு சில கோள்கள் மட்டும் ஏன் இதைச் செய்ய வேண்டும்; சந்திரனும், சூரியனும் ஏன் இதைச் செய்யவில்லை

என்ற வினுக்கள் எழுந்தன. நீண்ட காலமாக விடைதான் தெரிய வில்லே.

பண்டைக்கால கிரேக்க விஞ்ஞானிகள் இறுதியாக இவ் வினுக்களுக்கு விடை கண்டுபிடித்தனர்; பேரண்டம் முழுவதையும் விளக்கக் கூடிய ஒரு கருத்தைத் தெரிவித்தனர். அவர்கள் கருத்துத் தவருனது என்று நமக்கு இப்பொழுது தெரியும். அதஞல் நாம் அவர்களைவிட உயர்ந்தவர்கள் என்பதல்ல; அவர்கள் அறியாத சில உண்மைகள் இப்பொழுது தெரியவந்துள்ளன. பூமி நிலேயாக உள்ளதென்று அவர்கள் கருதிஞர்கள். ஏனெனில், பூமியளவு பெரிய பொருள் நிலேயாகத்தான் இருக்க வேண்டும் என நம்பிஞர்கள். மேலும் பூமி பேரண்டத்தின் நடுவில் உள்ள தாகவும் கருதிஞர்கள். காரணம், விண்மீன்கள், கோள்கள், சூரியன், சந்திரன் ஆகியவை பூமியை வட்டமிடுவதுபோல் தோன்றுகின்றன.

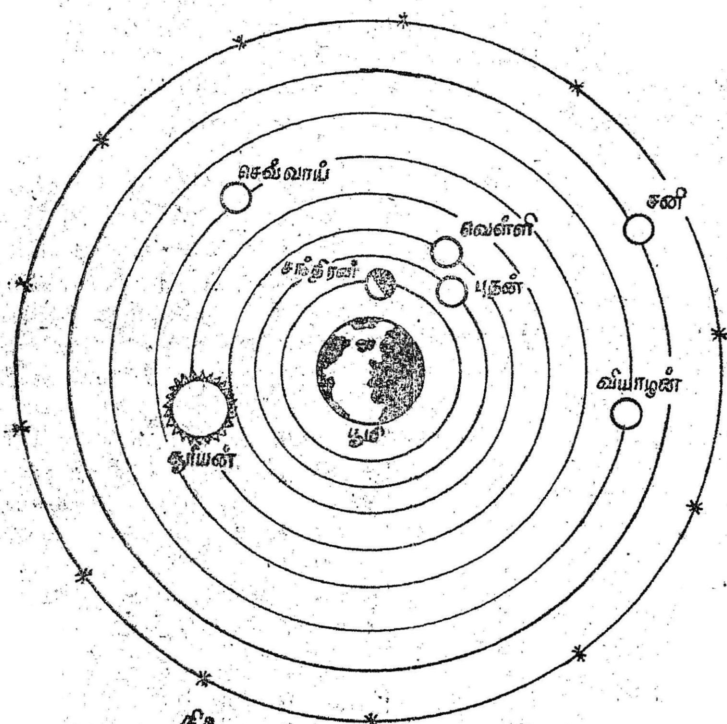



படம் 2•3.

வட்டங்களே உபயோகித்து, கோளின் தோற்றப்பாதையை விளக்குதல்.

அண்டவெளியில் பூமி நடுநாயகமாக உள்ளது என்று அவர்கள் கருதியதற்கு வேறு ஒரு தகுந்த காரணம் இருந்தது. உயரத்தில் இருந்து விழுந்த பொருள்கள் அல்லது உயரத்திலிருந்து கீழ்நோக்கி எறியப்பட்ட பொருள்கள் யாவும் பூமியின் மையத்தை நோக்கியே சென்றன. பூமி, அண்டவெளியின் நடுவில் இல்லா விட்டால் இது எவ்வாறு நடக்கமுடியும்? மேலும் கிரேக்க விஞ்ஞானிகளுக்கு வேறு சில கருத்துகளும் தெரிந்திருந்தன. பூமியின் இயக்கம், சுழற்சி ஆகியவையும் அவர்களுக்குத் தெரிந்தே இருந்தது. ஆனால் அவற்றை அவர்களால் சோதனை மூலம் நிருபிக்க முடியவில்லை.

கிரேக்க வானியலில் ஆராச்சியாளர்கள் கோள்களின் பாதைகளையும் துல்லியமாக ஆராய்ந்தனர். இயக்கப் பாதைகள் ஒழுங்காகவும் வட்டங்களாகவும் இருக்க வேண்டும் என்று தீர்மானித்தனர். (படம் 2·3)




நிலையான விண்மீன்களின் கோளம்

படம் 2·4.

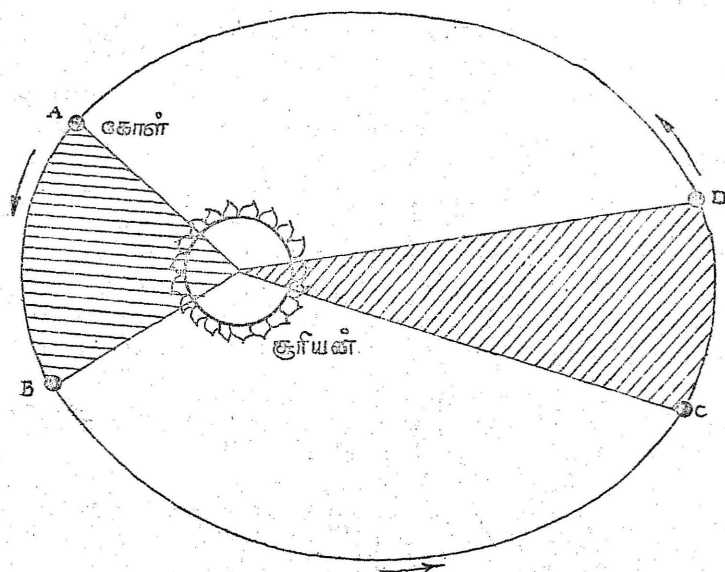
இக்கருத்தைச் சுமார் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகள் எல்லா வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களும் ஏற்றுக் கொண்டனர். இதன் பிறகும் வட்ட இயக்கப் பாதைகளிலிருந்து கோள்கள் எவ்வாறு முன்னும் பின்னும் செல்கின்றன என்பதை விளக்க முடியவில்லை. இதற்கும் கி. மு. 150-ல் டாலமி (Ptolemy) என்பவரே விடை கண்டுபிடித்தார்.

அவருடைய நூல் வானியலில் மிகச் சிறந்த நூலாகும். அவர் மரணத்திற்குப் பிறகு உரோமப் பேரரசு வீழ்ந்தவுடன் முகம்மதின் (Prophet - Mohammed) சீடர்கள் கீழ்த்திசை நாடுகளையும், அப்போதிருந்த நாகரிகமடைந்த பகுதிகளையும் வென்ற பிறகு டாலமியின் நூல் அராபிய மொழியில் மொழி பெயர்க்கப்பட்டது. அந்நூலில் கண்ட கருத்துகளைச் சுமார் 1500 ஆண்டுகள் யாரும் எதிர்க்கவில்லை.

தொடக்கத்தில் சூரியன், சந்திரன், மற்றக் கோள்கள் ஆகியவற்றின் இயக்கம் பற்றி டாலமி கொடுத்த கருத்துகள் வெகு உயர்ந்தவையாகக் கருதப்பட்ட போதிலும், கி. பி. 1500 வரையில் வானியல் வல்லுநர்கள் அவற்றைப் பயன்படுத்த முடியவில்லை. ஏனெனில், பல நூற்றுண்டுகளில் கண்ட முடிவுகள், டாலமியின் கருத்துகளிலிருந்தும் மாறுபட்டிருந்தன.

கி. பி. 1543-ல் இத்துறையில் ஒரு முக்கியமான கருத்து வெளியிடப்பட்டது. அக்காலத்திய சிறந்த விஞ்ஞானி கோபர் நிகஸ், (Copernicus) மரணப் படுக்கையில் இருக்கும்போழுது அவர் எழுதிய 'அண்ட வெளியில் கோள்களின் சுழற்சி' என்ற நூல் வெளியிடப்பட்டது. அதில், பூமியே சூரியனைச் சுற்றி வருகிறது என்ற கருத்தை வானியல் வல்லுநர்கள் ஏற்றுக்கொள்ள வேண்டும் என்று அவர் வலியுறுத்தியிருந்தார். இப் புதிய கருத்து, சந்திரனின் இயக்கத்தையும் மற்றக் கோள்களின் இயக்கங்களையும் விளக்குவதற்குத் துணைபுரிந்ததாலும், இக்கருத்தில் கொடுக்கப் பட்ட கணிதத்தின் உயர்ந்த தன்மையினாலும் அப்படியே ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டது. சுமார் 75 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு கெப்லர் (Kepler), கோள்கள் நீள் வட்டப்பாதையில் இயங்குகின்றன என்ற கருத்தைக் கொடுத்தார். எனவே பூமி சந்திரன், மற்றக் கோள்கள் ஆகியவை சூரியனைச் சுற்றி நீள்வட்டப் பாதைகளில் இயங்குகின்றன என நம்பினர். (படம் 2·5)

எனினும், கோள்கள் ஏன் நீள்வட்டப் பாதையில் இயங்க வேண்டும் என்ற வினாவிற்கு விடை காணமுடியவில்லை. இறுதியாக 1687-ல் நியூட்டன் தமது 'Philosophial Naturalis Principia




படம் 2·5.
கெப்லர் விளக்கியபடி கோள்களின் பாதை

Mathematica' என்ற நூலில் இதற்கு விடை கண்டார். நியூட்டன், புவியீர்ப்பு விசை என்ற புதிய கருத்தைத் தெரிவித்தார். சூரியன் எவ்வாறு கோள்களை ஈர்க்கிறது, அவற்றைத் தன்னைச் சுற்றி எவ்வாறு வட்டப் பாதைகளில் செலுத்துகிறது, பூமி எவ்வாறு சந்திரனை ஈர்க்கிறது, எவ்வாறு அதை வட்டப்பாதையில் செலுத்து கிறது என்பனவற்றையெல்லாம் அறுதியிட்டுக் கூறினார். இக் கருத்துகள் வானியலில் ஏற்பட்ட புதுமைக் கருத்துகளாகும். வானில் இயங்கும் பொருட்களை ஈர்க்கின்ற அதே விசைதான் பூமியில் இயங்குகின்ற பொருட்களையும் ஈர்க்கின்றது எனக்கூறினார். அதாவது, இயங்குகின்ற எல்லாப் பொருள்களும் ஒரே விதிக்குக் கட்டுப்பட்டு இயங்குகின்றன என்பது புலனாயிற்று. இவ்வாறு தங்கள் ஆராய்ச்சியைத்தொடங்கிய சுமார் 2000 ஆண்டுகளுக்குப் பின் வானியல்வல்லுநர்கள் ஒரு புதிய கருத்தை, அதாவது, கோள் களின் இயக்கம் என்ற கருத்தை ஒப்புக் கொண்டனர். இதை ஒப்புக்கொண்ட அதே நேரத்தில் அவர்களுக்கு முன்னால் ஒரு புதிய காட்சி விரிந்தது.

மேலே கூறப்பட்ட முறைப்படி ஒன்பது கோள்கள் நிறைந்த ஒரு குடும்பத்தில் சூரியன் மையமாக விளங்குகின்றது. இக்கோள்

களின் நீள்வட்டப் பாதைகளில் ஏழு கோள்களின் பாதைகள் ஒரு தளத்தில் 4 டிகிரிகளுக்குள்ளே சாய்ந்திருக்கின்றன. பூமியின் பாதையின் ஆரம் $149 \cdot 6 \times 10^6$ கி. மீட்டர்களாகும். இதையே வானியல் தூரங்களை அளப்பதற்கு அடிப்படை அலகாக உபயோகிக்கிறோம். இது வானியல் அலகு (astronomical unit) எனப்படும். சூரியனின் விட்டம் $1 \cdot 4 \times 10^6$ கி. மீட்டர்கள் (8,60,000 மைல்கள்) ஆகும். சூரியனோடு ஒப்பிடும்பொழுது மற்றக் கோள்கள் மிகச் சிறியனவாகும். சூரியனின் நிறை $2 \times 10^{33}$ கிராம்களாகும். மற்ற எல்லாக் கோள்களின் நிறையும் சேர்ந்து சூரியனின் நிறையில் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கை விடச் சிறிதளவே அதிகமாகும். பூமி மிகச் சிறிய கோள்களில் ஒன்றாகும். அதன் விட்டம் 12,700 கி. மீ. அல்லது 7900 மைல் களாகும். பூமியின் நிறை சூரியனின் நிறையில் $\frac{1}{3,00,000}$ பாகமாகும்.

சூரிய குடும்பத்தில் வேறு சில உறுப்புகளும் உள்ளன. அவை உருவில் மிகச் சிறியவையாகும். ஒவ்வொன்றும் சூரியனைச் சுற்றி வட்டப் பாதையில் இயங்குகின்றன. இவைகளில் மிகப் பெரியவை சிறுகோள்கள் (Asteroids) ஆகும். இம்மாதிரி சுமார் 2000 சிறுகோள்கள் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளன. இவற்றின் விட்டங்கள் 370 கி. மீட்டரிலிருந்து 1 கி. மீட்டர் வரை மாறுபடுகிறது. இதுவரை அறியப்பட்டுள்ள எல்லாச் சிறு கோள் களின் மொத்த நிறை $10^{24}$ கிராம்களாகும். இவற்றிலிருந்து மிகச் சிறிய இரும்பு அல்லது கல்லால் ஆன பொருள் வரை அநேக பொருட்கள் காணப்படுகின்றன. சிலவற்றின் நிறை ஒரு மில்லி கிராமுக்கும் குறைவாகக் கூட இருக்கிறது. மிகச் சிறு துகள்களே எண்ணிக்கையில் அதிகமாக உள்ளன. இவையே எரி நட்சத் திங்கள் தோன்றுவதற்குக் காரணமாயுள்ளன. இத்தகைய எண்ணிறந்த சிறு துகள்களின் நிறை மேலே கூறப்பட்டுள்ள 2000 உறுப்புகளின் நிறையில் $\frac{1}{1000}$ பங்காகும் அதாவது $10^{21}$ கிராம்களாகும்.

சூரிய குடும்பம் தோன்றிய வரலாறு இன்னும் மர்மமாகவே இருந்து வருகின்றது. அது தோன்றிய முறையை விளக்கும் பல்வேறு கோட்பாடுகளால் எல்லா நிகழ்ச்சிகளையும் முழுமையாக விளக்க இயலவில்லை. சூரியனுக்கு வெளியே சூரியன் வானத்தி லுள்ள ஏதோ ஒரு பொருளுடனோ அல்லது வேறு ஒரு விண் மீனுடனோ மோதிய பொழுது கோள்கள் தோற்றியதாகக் கருத்து நிலவுகிறது. சூரிய குடும்பம் மட்டுமல்ல; பல்வேறு குடும்பங்கள்

உள்ளன எனவும் கருதப்படுகிறது. இவற்றை மிகப் பெரிய தொலை நோக்கிகளாலும் காணமுடியவில்லை.

**விண்மீன்களின் வான இயற்பியல்** (The Astro-physics of the stars)

இரவில் வானத்தை நோக்கும் பொழுது காணப்படுகின்ற விண்மீன்கள், தங்களது வண்ணத்திலும், பொலிவிலும் மாறுபடுவதைக் காண்கிறோம். அவற்றின் ஒளி விளக்கச் செறிவையும் (luminous intensity), நிறமாலையையும் (spectrums) நவீன கருவிகளைக் கொண்டு கணிக்க முற்பட்ட பொழுது, விண்மீன்களில் பல்வேறு வகைகள் இருப்பது புலனாயிற்று. அவை மிகப் பெரிய வாயுக்களால் ஆன கோளங்களாகும். அவற்றின் வெப்ப நிலையும், அழுத்தமும் பெருமளவு மாறுபடுகின்றன. அவற்றின் வாயுக்களின் தொகுப்பும் மாறுபட்டுள்ளது. பெரும்பாலான விண்மீன்களின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலை 36,000° K-ல் (நீல விண்மீன்களுக்கு) இருந்து, 3000° K (அடர் சிவப்பு விண்மீன்களுக்கு) வரையில் மாறுபடுகிறது. விண்மீனின் மையத்தில் உள்ள வெப்ப நிலையையும், அழுத்தத்தையும், அவற்றின் புறப்பரப்பு வெப்பநிலைகள் அழுத்தங்கள் ஆகியவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். சூரியனின் மையத்தில் உள்ள வெப்ப நிலையும் அழுத்தமும் ஒரு சாதாரண விண்மீனின் மையத்தில் உள்ள வெப்பத்தையும் அழுத்தத்தையும் ஒத்துள்ளது. அவை முறையே 20 மிலியன் டிகிரிகள் K ஆகவும், 4 × 10" வளி மண்டல அழுத்தங்களாகவும் உள்ளன. இவற்றிலிருந்து மாறுபட்ட மதிப்புகளையுடைய பல்வேறு விண்மீன்களும் உள்ளன. வான இயற்பியல் இவற்றைப் பற்றி விரிவாகக் கூறுகிறது.

சூரிய குடும்பத்தில் மிக அதிகமாகக் கணப்படும் தனிமம் ஹைட்ரஜன் ஆகும். இது சாதாரண விண்மீன்களின் நிறையில் மூன்றில் இரண்டு பங்காகும். ஹீலியம் (Helium) பத்து விழுக்காடுகளும் மற்ற எல்லாத் தனிமங்களும் சேர்ந்து சுமார் ஒரு விழுக்காடும் உள்ளன. இந்த ஒரு விழுக்காடு தனிமங்களை அழுக்கு (impurity) என்று கூடச் சொல்லலாம். கனமான தனிமங்களின் செழிப்பு (abundance) விண்மீனுக்கு விண்மீன் மாறுபடுகிறது. மேலும், இது விண்மீனின் வயது, நிறை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தும் மாறுபடுகிறது. பல்வேறு விண்மீன்கள் இரண்டிரண்டாகவோ அல்லது மும்மூன்றாகவோ சேர்ந்து தங்களைத் தாங்களே சுற்றிக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றைப் பொதுவாக இரட்டை விண்மீன்கள் என்றழைக்கிறோம். இவற்றின் சுழற்சி நேரத்தையும் இவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தூரத்தையும் கொண்டு இவ் விண்மீன்களின் நிறையைக் கணக்கிடுகின்றனர்.

**விண்மீன்களின் தூரங்கள்** (The distances of the stars)

நிலம் அளப்போர் (surveyor) பயன்படுத்துகின்ற முக்கோணத் தொழில் முறையை (method of triangulation) உபயோகித்து அருகில் உள்ள விண்மீன்களின் தூரத்தைக் கணக்கிடலாம். இதற்குப் பூமியின் சுற்றுப் பாதையின் விட்டத்தை அடித்தளமாக உபயோகிக்கிறோம். இவ் விட்டம் விண்மீன்களின் தொலைவுகளோடு ஒப்பிடும்பொழுது மிக மிகக் குறைவான தால், அளக்கப்படுகின்ற கோணங்களும் மிகச் சிறியவையாகும். எனவே, அவற்றைத் துல்லியமாக அளக்க வேண்டும். இம் முறையில் பல்வேறு ஆண்டுகளில் பல இடைவெளிகளில் ஒரு குறிப்பிட்ட விண்மீனைப் படம் பிடிக்கிறோம். விண்மீன் அருகில் இருக்கும் என்றால் பூமி தன் சுற்றுப் பாதையில் இயங்கும்பொழுது பூமியையும் விண்மீனையும் சேர்க்கும் கோடு மாறிக் கொண்டே இருக்கும். அதாவது பூமிக்கும், விண்மீனுக்கும் இடையே உள்ள திசை மாறிக் கொண்டே இருக்கும். ஆறு மாதங்களில் அவ் விண்மீன் பல்வேறு பொலிவு குறைந்த, தொலைவில் உள்ள விண்மீன்களிடையே சென்று கொண்டிருப்பது போல் தோன்றும். 12 மாதங்களில் அதாவது பூமி தனது சுற்றுப்பாதையினை ஒரு தடவை சுற்றி முடிந்தவுடன் அந்த விண்மீன் தன் பழைய இடத்திற்குத் திரும்பி விட்டதுபோல் தோன்றும். விண்மீனின் திசையில் தோன்றும் இந்தத் தோற்ற மாறுபாடு (apparant change) இடமாறு தோற்றம் (parallax) எனப்படுகிறது. இதையே விண்மீன்களுக்கு இடையே உள்ள தூரங்களை அளப்பதற்கு ஓர் அலகாகப் பயன்படுத்துகின்றனர். ஒரு விண்மீனின் இடமாறு தோற்றம் என்பது ஒரு வானியல் அலகு (astronomical unit), அந்த விண்மீனில் தாங்குகின்ற கோணமாகும். இடமாறு தோற்றம் 1" (ஒரு விநுடி) (one second of arc) ஆனால் அந்த விண்மீனின் தூரம் ஒரு பார்செக் (parsec) என அழைக்கப்படுகிறது. இது 3·26 ஒளி ஆண்டுகளுக்குச் சமமாகும்.

இடமாறு தோற்றத்தை 0·003" (விநுடிகளுக்கு) துல்லியமாக அளக்கலாம். அதாவது 30 பார்செக்குகள் தொலைவில் பிழை ஏறக்குறைய பத்து விழுக்காடுகள் ஆகிறது. இந்த எல்லைக்குள் சுமார் ஆயிரம் விண்மீன்களின் தொலைவுகள் அளக்கப்பட்டுள்ளன. அதிகத் தொலைவிலுள்ள விண்மீன்களின் தூரங்களை அளப்பதற்கு வேறு மறைமுகமான முறைகள் கையாளப்படல் வேண்டும்.

ஒரு விண்மீனின் தூரம் தெரிந்தவுடன் அதனுடைய தோற்றப் பொலிவைப் பயன்படுத்தி அது ஒவ்வொரு விநுடியிலும் வெளி

யேற்றுகின்ற ஆற்றலின் அளவைக் கணக்கிடலாம். வானத்தி லுள்ள மிகப் பொலிவான விண்மீன் சிரியஸ் (sirius) ஆகும். அதனுடைய தூரம் 2·7 பார்செக்குகள் ஆகும். அதாவது 8·8 ஒளியாண்டுகளாகும். அதனுடைய விட்டம் $2 \cdot 5 \times 10^6$ கி. மீட்டர்களாகும். இது சூரியனின் விட்டத்தைப்போல் 1·8 மடங்கு அதிகமாகும். அது ஒரு விநாடியில் வெளிவிடும் ஆற்றல் $6 \times 10^{24}$ கிலோவாட்டுகளாகும். இது ஒரு விநாடியில் சூரியன் வெளிவிடும் ஆற்றலில் இருபது மடங்குகளாகும்.

பெரும்பாலான விண்மீன்களுக்கு அவற்றின் வண்ணம், நிறமாலை, அவை வெளிவிடும் ஆற்றல் ஆகியவற்றிற்கிடையே ஒரு நேரடித் தொடர்பு உள்ளது. எனவே, சிரியஸ் என்ற விண்மீனைப் பற்றிக் கண்ட முடிவுகளை அதே நிறமாலையுடைய மற்ற விண்மீன் களைப்பற்றி அறிவதற்கும் பயன்படுத்தலாம். இம் மாதிரி அறியப் பட்ட விண்மீன்களின் TY-பெகாஸி (TY-Pegasi) என்பதும் ஒன்றாகும். இது மிகவும் பொலிவு குன்றிய ஒரு விண்மீனாகும். இதை நாம் நம் கண்களால் மட்டும் காணமுடியாது. இவ் விண்மீனி லிருந்து நமது பூமியை வந்தடைகின்ற ஆற்றல் சிரியஸ் என்ற விண் மீனிலிருந்து வருகின்ற ஆற்றலில் $\frac{1}{60{,}000}$ பங்காகும். இதன் பொலிவு நமக்கும் இவ் விண்மீனுக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தின் இருமடங்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது. எனவே, இவ் விண் மீனின் தூரம் சுமார் $2 \cdot 7 \times \sqrt{60{,}000} = 660$ பார்செக்குகள்; அதாவது 2160 ஒளி ஆண்டுகளாகும்.

இவ்வாறு முக்கோண முறையைப் பயன்படுத்தி நாம் காண் கின்ற விண்மீன்களின் தொலைவைப்போல் சுமார் 20 மடங்கு (3·26 ஒளியாண்டுகள்) தொலைவிலுள்ள விண்மீன்களின் தூரத் தையும் அளக்கலாம். இந்த விண்மீன் ஓர் இரட்டை விண்மீன் ஆகையால் இதில் பொலிவு குறைந்த விண்மீனிலிருந்து வருகின்ற ஒளியினை அளக்கும்பொழுது ஒரு திருத்தம் காணவேண்டும். அத் திருத்தத்தைக் கொடுத்தபோது அதன் தொலைவு 830 பார்செக்கு களாகும்.

**விண்மீன்களின் ஆற்றல்** (The energy of the stars)

சிரியஸ் என்ற விண்மீனிலிருந்து வெளிவரும் ஆற்றலின் அளவு மேலே குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது. இது சூரியனின் ஆற்றலில் இருபதில் ஒரு பங்காகும். இவ்வளவு ஆற்றல் பன்னெடுங் காலமாகத் தொடர்ந்து வெளிவந்து கொண்டே இருக்க வேண்டும். இந்த ஆற்றலின் மூலக்காரணம் நீண்ட காலமாக

விஞ்ஞானிகளுக்குத் தெரியவில்லை. விண்மீன்களின் உட்பகுதியில் தொடர்ந்து நிகழ்ந்து கொண்டே இருக்கின்ற உட்கரு வினையினால் (nuclear processes) இந்த ஆற்றல் வெளியிடப்படுவதாக இப்பொழுது அறிந்துள்ளனர். இவ் வினை ஏற்படுவதற்குத் தேவையான உயர் வெப்பநிலைகளைப் பற்றியும், உயர் அழுத்தங்களைப் பற்றியும் முன்னரே கூறியுள்ளோம்.

தனிமங்களில் ஹைடிரஜன் மிகவும் எளியது. விண்மீன்களில் இதுவே பெருமளவுள்ளது. ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவில் நேர் மின்னூட்டம் உள்ள ஒரு புரோட்டானும் அதைவிட இலேசான ஓர் எதிர் மின்னூட்டம் உடைய எலக்ட்ரானும் உள்ளன. இவ் விரு மின்னூட்டங்களுக்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையினால் எலக்ட்ரான், புரோட்டானைச் சுற்றி ஒரு வட்டப் பாதையில் இயங்குகின்றது. விண்மீன்களிலுள்ள அதி வெப்பநிலையில், இந்த ஹைடிரஜன் அணுக்கள் சூடுபடுத்தப்படும்பொழுது இவை ஒன்றோடொன்று வினை புரிகின்றன. விண்மீன்களில் சிறிதளவில் காணப்படும் கரி, நைட்டிரஜன்போன்ற தனிமங்கள் வினை ஊக்கி (catalyst) களாகத் தொழில்படுகின்றன. இவ் வினையின் விளைவால் நான்கு ஹைடிரஜன் உட்கருக்கள் ஒரு ஹீலியம் உட்கருவாக மாற்றப் படுகின்றன. ஒரு ஹீலியம் உட்கருவின் நிறை ஒரு ஹைடிரஜன் உட்கருவின் நிறையைப்போல் நான்கு மடங்காகும். இவ் வினை முடிந்தபின் வினையூக்கிகள் திரும்பவும் தங்களது பழைய நிலையை அடைந்து, மேலும் ஹைடிரஜன் அணுக்களை ஹீலியம் அணுக்களாக மாற்றத் தயாராகின்றன. ஹைடிரஜன் உட்கரு ஹீலியம் உட்கருவாக மாற்றப்படும்பொழுது ஒரு சிறிதளவு நிறை (mass) மறைந்துவிடுகிறது. நான்கு ஹைடிரஜன் அணுக்களின் மொத்த நிறை ஒரு ஹீலியம் அணுவின் நிறையைவிட 0·7 விழுக்காடு அதிகமாகும். இந் நிறை, ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. இம் மாற்றம் ஐன்ஸ்டினின் (Einstein) $E = mc^2$ என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. இங்கு,

$E$ = வெளிவிடப்படும் ஆற்றல்

$m$ = மறைந்த நிறை

$c$ = ஒளியின் திசை வேகம்.

ஒரு கிராம் நிறையுள்ள ஹைடிரஜன், ஹீலியமாக மாற்றப் படும்போது 0·007 கிராம் நிறை மறைந்துவிடுகிறது. எனவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றல்,

$$E = 0{\cdot}007 \times (3 \times 10^{10})^2$$
$$= 6{\cdot}3 \times 10^{18} \text{ எர்க்குகள்.}$$

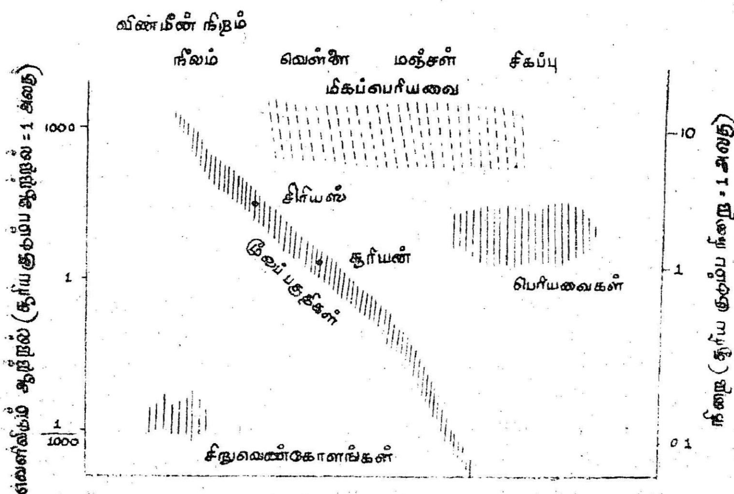
இயற்பியல் வல்லுநர்களும், வானியல் வல்லுனர்களும் எர்க் (erg) என்ற அலகைப் பயன்படுத்தியபோதிலும் ஒரு கிலோ-வாட்-மணி (one kilo-watt-hour) என்பது இதைவிடச் சிறந்த அலகாகும். 1 கிலோ-வாட்-மணி $= 3 \cdot 6 \times 10^{13}$ எர்க்குகளாகும். எனவே, 1 கிலோ கிராம் ஹைடிரஜனை ஹீலியமாக மாற்றும்பொழுது 7 கிராம் ஹைடிரஜன் மறைகிறது. ஆகவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் $1 \cdot 73 \times 10^{8}$ கிலோ-வாட்-மணிகளாகும்.

சூரியன், சிரியஸ் என்ற விண்மீன் வெளியிடும் ஆற்றலில் $\frac{1}{20}$ பங்கு ஆற்றலை வெளியிடுவதாக மேலே கூறினோம். சிரியஸ் வெளிவிடும் ஆற்றல் $6 \times 10^{24}$ கிலோ-வாட்-மணிகளாகும். ஆகவே சூரியன் வெளிவிடும் ஆற்றல் $3 \times 10^{23}$ கிலோ-வாட்டுகளாகும். எனவே, சூரியனில் ஹைடிரஜன் அணுக்களின் நிறை ஒரு மணிக்கு $2 \cdot 3 \times 10^{18}$ கிராம்கள் வீதம் குறையவேண்டும். சூரியனின் நிறை $2 \times 10^{33}$ கிராம்களாகும். சூரியன், தனது ஹைடிரஜன் அணுக்களில் 10 விழுக்காடுகளை இழப்பதற்கு ஆகவேண்டிய நேரத்தை நாம் கணக்கிடலாம். இந்த நேரம் $6 \times 10^{9}$ ஆண்டுகளாகும். பூமியின் வயது ஏறக்குறைய $10^{9}$ ஆண்டுகளாகும். எனவே, சூரியனின் ஆற்றல் இன்னும் பல நூற்றுண்டுகளுக்கு பூமிக்கு ஒளியைத் தரப் போதுமானதாகும். சூரியனில் ஏற்படுகின்ற வினைகள், ஆற்றலை மெதுவாகவும் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட முறையிலும் உண்டாக்குகின்றன. குறிப்பிட்ட ஹைடிரஜன் அணுக்களை எடுத்துக்கொண்டால், முதல் வினைக்கும், அடுத்த வினைக்கும் இடையில் சுமார் ஒரு மிலியன் ஆண்டுகளாவது இடைவெளியிருக்கின்றது. ஒரு ஹைடிரஜன் குண்டில் (hydrogen bomb) ஆற்றல் இதே முறையில் வெளியிடப்பட்டபோதிலும் அது விரைவாகவும் வெடிப்பு முறையிலும் வெளிவருகின்றது. ஹார்வெல் (Harwell) சோதனைச் சாலையில் சீட்டா (zeta) என்ற அணு உலையில் (atomic reactor) அண்மையில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் ஆற்றலை ஹைடிரஜன் – ஹீலியம் மாறுபாட்டிலிருந்து கட்டுப்படுத்தப்பட்ட முறையில் பெறுவதற்காகச் செய்யப்பட்டவையேயாகும்.

**விண்மீன்களின் தோற்றம் (The evolution of stars)**

ஒரு சாதாரண விண்மீனில் வெளிவரும் ஆற்றல் அதன் நிறையைப் பொறுத்துள்ளது. பெரிய விண்மீன்களில் அவற்றின் மையங்களில் வெப்ப நிலையும், அழுத்தமும் அதிகம். எனவே, ஹைடிரஜன் - ஹீலியம் மாறுபாடு துரிதமாக நடைபெறுகின்றது. புறப்பரப்பு வெப்பநிலை, விண்மீன்களின் ஒளி நிறமாலையைப் பாதிக்கின்றது. பெரிய விண்மீன்கள் அதிக வெப்பநிலை உடையன

வாகவும் நீல வண்ணத்திலும் இருக்கின்றன. சிறிய விண்மீன்கள் குறைந்த வெப்ப நிலையிலும் மஞ்சள் அல்லது சிவப்பு வண்ணத்திலும் இருக்கின்றன. இவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பு படம் 2·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 2·6.

ஒரு சாதாரண விண்மீனின் ஆற்றல் வெளியீடு, நிறம், நிறை, தளப்பரப்பு வெப்பநிலை இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது.

விண்மீன்களின் தோற்றமும் வளர்ச்சியும் மிக மெதுவாக நடைபெறுகின்றன. இவ் வளர்ச்சிக்கான காலம் மில்லியன் ஆண்டுகளாகும். அதிக வெப்பநிலையில் உள்ள நீல விண்மீன்கள் மிக விரைவாகத் தங்கள் ஹைடிரஜன் அணுக்களை உட்கொள்ளுகின்றன. எனவே, இவை சுமார் 100,000 ஆண்டுகள் அல்லது அதற்குக் குறைவாகத்தான் தோன்றியிருக்க வேண்டும். இன்று காணப்படுகின்ற இத்தகைய விண்மீன்கள் பூமி தோன்றிய வெகு காலத்திற்குப் பின்னரே தோன்றியிருக்க வேண்டும். இன்று காணப்படுகின்ற விண்மீன்களில் அவற்றின் தோற்றம், வளர்ச்சி ஆகியவற்றின் ஒவ்வொரு நிலைக்கும் உதாரணங்கள் காணப்படுகின்றன. ஒரு விண்மீன் அதிலுள்ள எல்லா ஹைடிரஜன் அணுக்களும் ஹீலியம் அணுக்களாக மாற்றப்பட்டவுடன் தனது பருமனில் மிகவும் சுருங்கி, ஒளியிழந்த ஒரு சிறிய கோளமாக மாறி

விடுகின்றது. இத்தகைய கோளத்திற்கு வெள்ளைச் சிறு கோளம் (White dwarf) என்பது பெயர். இதை வான வெளியின் எரிசாம்பல் (Stellar cinder) என்று கருதலாம். அநேக வெள்ளைச் சிறு கோளங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. இச் சிறு கோளங்களுக்கு மட்டும் ஒளி இருந்தால் இன்னும் பல கோளங்களை நாம் கண்டு பிடித்திருக்கலாம். விண்மீன் கூட்டங்களில் (Galaxy) வெள்ளைச் சிறு கோளங்கள் மிக அதிக அளவில் காணப்படலாம். அவற்றி லிருந்து வெளிவரும் ஆற்றல் குறைவு; ஆனல் அவற்றின் மையத்தில் வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவை சூரியனின் மையத்தில் உள்ள வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவற்றை விடப் பன் மடங்கு அதிகமாகும். சில சமயங்களில் தேய்ந்து கொண் டிருக்கின்ற ஒரு விண்மீன் பயங்கரமாக வெடிக்கிறது. அதன் மையத்தில் வெப்பநிலையும், அழுத்தமும் மிக அதிக அளவு உயர்ந்து இந்த வெடிப்பு ஏற்பட்டிருக்கலாம். எனவே. ஒரு பயங்கர உட்கரு எதிர் வினை நிகழ்கிறது. விண்மீன் சுமார் 100,000 மடங்கு பொலிவுள்ளதாக மாறுகின்றது. இந் நிலையை நாம் ஒரு நோவா (Nova)ப் பிறந்திருப்பதாகக் கூறுகின்றோம். இந் நிலையில் அவ் விண்மீன் தொடர்ந்து இருக்க முடியாமல் ஒரு சில வாரங்கள் அல்லது மாதங்களுக்குள்ளேயே சுருங்கி, தனது பழைய நிலையை அடைகிறது. இவை வெகு அரிதாகத் தோன்றிய போதிலும், ஓராண்டில் ஒரு விண்மீன் கூட்டத்தில் சுமார் பத்துத் தடவை தோன்றுவதாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஒரே விண் மீன் 10-லிருந்து 30 ஆண்டுகள் இடைவெளியில் நோவாவாக மாறிய நிகழ்ச்சிகளும் உண்டு. ஆனல் இந் நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிய முழு விவரங்களும் நமக்குத் தெரியவில்லை.

**மீச் சூடேற்றப்பட்ட நோவாக்கள் (Super novae)**

வெகு அரிதாக ஒரு விண்மீன் வெடிக்கும் பொழுது ஒரு நோவா வெடிப்பதைப் போல்' பத்து மடங்கு வலிவுள்ள வெடிப்பு நிகழ் கின்றது. இதற்கு மீச் சூடேற்றப்பட்ட நோவா என்பது பெயர். இத்தகைய நோவா ஒரு சில மாதங்கள் வரை இந்த விண்மீன் கூட்டங்களளவு பொலிவு உள்ளதாக இருக்கும். இத்தகைய மீச் சூடேற்றப்பட்ட நோவா ஒன்றை கி. பி. 1607-ல் கெப்லர் என்ற ஜெர்மன் விஞ்ஞானி கண்டார். இதற்கு முன் கி. பி. 1578-ல் ஒரு தடவையும் கி. பி. 1054-ல் ஒரு தடவையும் இத்தகைய நோவாக்கள் தோன்றியதாக, சீன, ஜப்பான் நாட்டு ஏடுகளி லிருந்து தெரிகிறது. இந் நோவாக்களின் மீந்த பகுதிகளை இன்றும் ஆராய்ந்து வருகின்றனர். இவற்றிலிருந்து பல உண்மைகள் புலனுகின்றன.

**விண்மீன் கூட்டங்கள்** (Galaxies)

பேரண்டத்தில் விண்மீன்கள் அமைந்துள்ள விதத்தைப் பற்றி வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் சென்ற 40 ஆண்டுகளில் தங்கள் கருத்துகளை வெகுவாக மாற்றிக் கொண்டுள்ளனர். இதிலிருந்து விண்மீன்கள் அண்டவெளியில் பரவலாகக் காணப்படவில்லை என்றும், சிறு சிறு கூட்டங்களாகவே காணப்படுகின்றன என்பதும் புலனாகின்றது. இக் கூட்டங்களின் அமைப்பு ஒரு வட்டத் தகட்டின் அமைப்பை ஒத்திருக்கிறது. நமது விண்மீன் கூட்டத்திலுள்ள 10" விண்மீன்களில் சூரியனும் ஒரு விண்மீனாகும். படம் 2·7 சூரியனின் தோராயமான இருப்பிடத்தைக் காட்டுகிறது.




படம் 2·7.

விண்மீன் கூட்டத்தின் தளத்தில் சூரியனின் நிலையைக் காட்டுகிறது.

நமது விண்மீன் கூட்டத்தைச் சுற்றிப் பல்வேறு விண்மீன் கூட்டங்களும் உள்ளன. நமது அருகில் உள்ள ஒரு விண்மீன் கூட்டம் ஆன்ட்ரோமெடா (Andromeda) என்பதாகும். நாம் பூமியில் இருந்து கொண்டு நமது விண்மீன் கூட்டத்தைப் பற்றி அறிய முடியாது. ஆனால் இது ஏறக் குறைய ஆன்ட்ரோமெடாவை ஒத்திருக்க வேண்டும் என்று கருதப்படுகிறது. நமது விண்மீன் கூட்டம் மிகப் பெரிய விண்மீன் கூட்டங்களில் ஒன்றாகும்.

வேறு உதவியின்றி நமது கண்களால் மட்டும் நாம் காணக் கூடிய எல்லா விண்மீன்களும் நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் உறுப்பினர்களாகும். இந்தப் பொலிவுள்ள விண்மீன்கள் சூரியனைச் சுற்றிலும் ஒரே சீராகவும் அமைந்துள்ளன. ஒரு தொலைநோக்கியால் பொலிவு குறைந்த விண்மீன்களை நோக்கினால் அவையும் வானவெளியில் ஒரு பட்டையில் அமைந்திருப்பதைக் காணலாம். இந்தப் பொலிவு குறைந்த நட்சத்திரப் பட்டை பால் வழியில் (milky way) வானத்தைச் சுற்றி இருக்கிறது. பால் வழியின் மையத்தின் வழியே செல்கின்ற விண்மீன் கூட்ட மையக் கோட்டினையும் (galaxtic equator), குறுக்குக் கோடுகள் (latitude), நெடுக்குக் கோடுகள் (longitude) போன்ற அமைப்பையும் பயன்படுத்தி இந்த விண்மீன்களின் இருப்பிடத்தையும், இயக்கத்

தையும் கணக்கிட்டுள்ளனர். மேலும் விண்மீன் கூட்டத்தின் மையமும் அறியப்பட்டுள்ளது. இந்த மையம் 8000 பார் செக்குகள் (25,000 ஒளி ஆண்டுகள்) தனுசின் திசையில் இருப்ப தாக அறியப்பட்டுள்ளது.

**விண்மீன் கூட்டங்களின் அமைப்பு** (The Constitution of Galaxies)

விண்மீன் கூட்டங்களில் பொருள் திணிவு (matter) விண்மீன் களிலேயே குவித்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு சிறு விழுக்காடு மட்டும் விண்மீன்களுக்கிடையே உள்ள பகுதியில் ஹைடிரஜன் வாயுவாகவும் துகள்களாகவும் ஒரு புகையைப்போல் பரவியுள்ளது. விண்மீன்கள் வளர்ச்சியில் இச் சிறு துகள் கூட்டங்கள் பெரும் பங்கு வகிக்கின்றன. ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சியில் இத் துகள்கள் கூட்டம் பெரிதும் பயன் படுகின்றது.

அண்ட வெளியில் உள்ள பொருள் ஒரு தளத்தில் பெருமளவு குவிக்கப்பட்டுள்ளது. இது வெளியிலுள்ள விண்மீன் கூட்டங் களில் உள்ள நெபுலாக்களின் (Nabulae) நிழற் படத்தில் ஒரு கறுப்புப் பட்டையாக இருப்பதைக் காணலாம். வானுராய்ச்சிகளி லிருந்து நமது விண்மீன் கூட்டங்களில் உள்ள சிறு துகள்கள் $3 \times 10^{-5}$ செ. மீட்டர் ஆரத்தையும், $10^{-13}$ கிராம் நிறையையும் பெற்றிருப்பது புலனுகின்றது. இவற்றின் ஒளித் திருப்பக் குணங் களிலிருந்து இச் சிறு துகள்கள் தூய உலோகங்கள் அல்ல; உலோகக் கூட்டுப் பொருள்களால் ஆனவை என்பது தெரிய வருகின்றது. வாயுவும், துகள்களுமாகச் சேர்ந்து 8 பார்செக்குகள் குறுக்களவுள்ள பகுதியில் தோன்றுகின்றது. இக் கூட்டத்தினுள் ஒரு சில இடங்களில் ஒரு கன மீட்டருக்கு 100,00,000 அணுக் களும், விண்மீன் கூட்டத் தளத்தின் சில இடங்களில் ஒரு கன மீட்டருக்கு 100,000 அணுக்களும் இருக்கின்றன. நமது பேரண்டத்தில் ஒரு கன மீட்டருக்குச் சுமார் ஆறு அணுக்களே உள்ளன. என்று முன்பு கூறினேம். இவற்றை ஒப்பிடும்பொழுது இத் துகள்களின் அடர்த்தி $\frac{1}{100}$ பங்கு இருப்பது தெரிய வரு கின்றது.

அண்ட வெளியிலுள்ள துகள் கூட்டங்களை இரு வழிகளில் அறியலாம். அதிக வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு விண்மீனுக்குப் பக்கத்தில் உள்ள வாயு அயனியாக்கம் அடைந்து ஒளியை வெளி விடுகின்றது. இதற்கு வெளிவிடு நெபுலா (emission nabula) H. II பகுதி என்பது பெயர். அதிக வெப்பநிலையில் உள்ள விண்மீன் இல்லாதபொழுது இவ்வாயு அயனியாக்கம் அடைவதில்லை. மாருக

100°K-க்குக் குளிர்ந்து ஒளிபுகும் பொருளாக மாறிவிடுகிறது. இதை ஹைடிரஜனிலுள்ள அசுத்தங்களினால் உட்கவர்தல் ஏற்படும் பொழுது மட்டுமே அறியமுடியும்; அல்லது விண்மீன் ஒளித் துகள்களினால் திருப்பப்படும்பொழுதோ அல்லது உட்கவரப்படும் பொழுதோ அறியலாம். இத்தகைய கூட்டங்களுக்கு இருட்டு நெபுலாக்கள் அல்லது ஒளித் திருப்ப நெபுலாக்கள் அல்லது H. I பகுதிகள் என்பது பெயர்.

**விண்மீன் கூட்டங்களின் பிரிவுகள் (Types of Galaxies)**

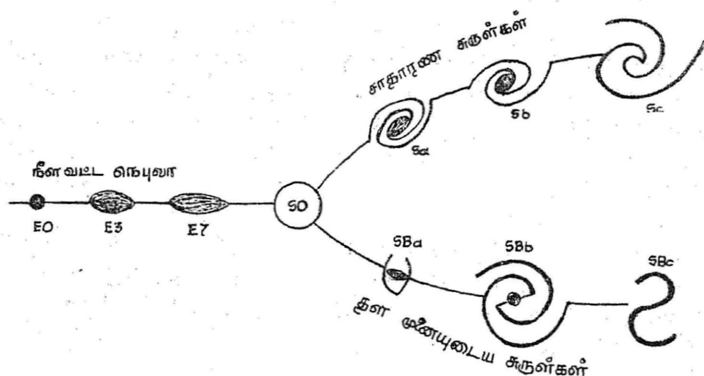
விண்மீன் கூட்டங்களின் துருவத்தின் அருகே மிகப் பெரிய தொலைநோக்கிகளைக் கொண்டு ஆராய்ந்தபொழுது, பல்வேறு விண்மீன் கூட்டங்கள் இருப்பதும், ஒவ்வொரு கூட்டத்திலும் பல விண்மீன்கள் இருப்பதும் தெரிய வந்தது. இக் கூட்டங்களில் பெரும்பாலானவை ஒரு கோள வடிவ உட்கருவைச் சுற்றி, சுருள் வில் வடிவில் அமைந்திருந்தன. ஆன்ட்ரோமெடா உட்கருவை அண்மையில் ஆராய்ந்தபொழுது உட்கருவிலுள்ள விண்மீன்கள் சுருள் வில்லில் உள்ள விண்மீன்களை விடப் பொலிவு குறைந்தும், சிவப்பாகவும் காணப்பட்டன. இதிலிருந்து உட்கருவிலுள்ள விண் மீன்கள் சுருள் வில் அமைப்பில் உள்ள விண்மீன்களை விட வயதானவை என்பதும், இவை காலப் போக்கில் குளிர்ச்சி யடைந்து தோன்றியவை என்பதும் தெரிய வந்தது. இவ் விண் மீன்களில் ஹைடிரஜன் பெருமளவு காணப்படுகின்றது.

மேலும் இரண்டு வகை விண்மீன் கூட்டங்களும் அறியப் பட்டுள்ளன. இவை நீள்வட்ட வடிவக் கூட்டங்களும், கோள வடிவக் கூட்டங்களும் ஆகும். இவற்றின் எண்ணிக்கை மொத்தக் கூட்டங்களின் எண்ணிக்கையில் இருபது விழுக்காடுகளாகும். இவற்றில் சுருள் வில் அமைப்பு கிடையாது. இவை சுருள் வில் கூட்டங்களைவிட உருவத்தில் சிறியவை. இவற்றில் வாயு அல்லது துகள்கள் மிகக் குறைந்த அளவே காணப்படுகின்றன. இவற்றைத் தனித்தனியே ஆராய்ந்தபொழுது இவை வயதானவை களாகவும், சிவப்பாகவும், பொலிவு குன்றியும் காணப்பட்டன.

சுமார் ஐந்து விழுக்காடுகள் வரையில் விண்மீன் கூட்டங்கள் ஓர் ஒழுங்கற்ற அமைப்பைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றில் சுருள் வில் அமைப்பு கிடையாது. சிறிதளவே துகள்களும் வாயுக் களும் உள்ளன. இங்குள்ள விண்மீன்கள் சிவப்பு வண்ணத்தில் இருக்கின்றன.

நீள வட்ட வடிவ, சுருள் வடிவ விண்மீன் கூட்டங்கள் இரு முக்கியப் பகுதிகளாகவும் துணைப் பகுதிகளாகவும் பிரிக்கப்

பட்டுள்ளன. இவற்றின் அமைப்பு படம் 2·8-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.




படம் 2 8

விண்மீன் கூட்ட நெபுலாக்களின் வகைகள் காட்டப்பட்டுள்ளது.

சுருள் வட்ட வடிவில் உள்ள கூட்டங்கள் இரு கூறுகளாகப் பகுக்கப்பட்டுள்ளன. நீள் வட்டக் கூட்டங்கள், அவற்றின் நீள் வட்ட வடிவைப் பொருத்து பகுக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு கூறில், அதாவது *Sa*-லிருந்து *Sc* வரையில் ஆன கூறில் இரண்டு சுருள் வில் புயங்களும் உட் கருவிலிருந்து புறப்பட்டு அதைச் சுற்றிச் செல்கின்றன. மற்றொரு வகையில் அதாவது *SBa*-லிருந்து *SBc* வரை இரண்டு புயங்களும் உட்கருவின் வழியே செல்கின்ற ஒரு நேர் கோட்டின் இரு முனைகளிலிருந்தும் கிளம்பிச் செல்கின்றன. *a — c* என்ற துணைக் குறியீடுகள் இச் சுருள்கள் உட் கருவைச் சுற்றி எவ்வளவு நெருக்கமாக இருக்கின்றன என்பதைக் குறிக்கின்றன. *a* என்பது *c* ஐக் காட்டிலும் துணைச் சுருள் அதிக நெருக்கமாக உள்ளது என்பதைக் குறிக்கிறது. இதிலிருந்து விண்மீன் கூட்டங்களின் தோற்றத்தையும் வளர்ச்சியையும் ஒருவாறு கணக்கிடலாம். இருப்பினும் முடிவுகள் ஆதாரமற்றவை. படத்தின் வலப் பக்கத்தில் ஓர் ஒழுங்கற்ற நெபுலா காட்டப்பட்டுள்ளது. அது சுருளாக மாறி இறுதியாக நீள் வட்ட வடிவை அடையலாம். விண்மீன் கூட்டங்களின் தோற்றம் அறுதியிட்டுக் கூற முடியாததாகவே இன்றும் உள்ளது.

**விண்மீன் கூட்டங்களின் சுழற்சி (The Rotation of Galaxies)**

சுருள் வில் விண்மீன் கூட்டங்கள் சுழன்று கொண்டிருக்கின்றன என்பது அவற்றின் அமைப்பிலிருந்து தெளிவாகின்றது.

இதுவே அவற்றின் தட்டையான உருவத்தையும் விளக்குகிறது. இவ் விண்மீன் கூட்டத்தின் சுழற்சி வேகத்தை வானவெளியின் பல்வேறு பகுதிகளில் நிகழும் விண்மீன்களின் சராசரி இயக்கத்தைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். இந்த முழு அமைப்பும் ஒரு திடப் பொருளால் ஆன வட்டத் தட்டு போல் சுழலவில்லை ; சுழற்சியின் அச்சிலிருந்து தூரம் அதிகமாக அதிகமாக சுழற்சி நேரமும் அதிகமாகிறது. சூரியனுக்கும் விண்மீன் கூட்டத்தின் மையத்திலிருந்து சூரியன் அளவே தூரத்தில் உள்ள விண்மீன்களுக்கும் ஒரு முழுச் சுழற்சி முடிய 220 மில்லியன் ஆண்டுகள் ஆகின்றன.

நம்மை விட்டு வெளியே உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களின் சுழற்சி நேரத்தையும் கணக்கிட்டுள்ளனர். இதற்கு நிறமாலைக் கோடுகளில் ஏற்படும் டாப்லர் இடப் பெயர்ச்சி (Doppler shift) பயன்படுகின்றது.

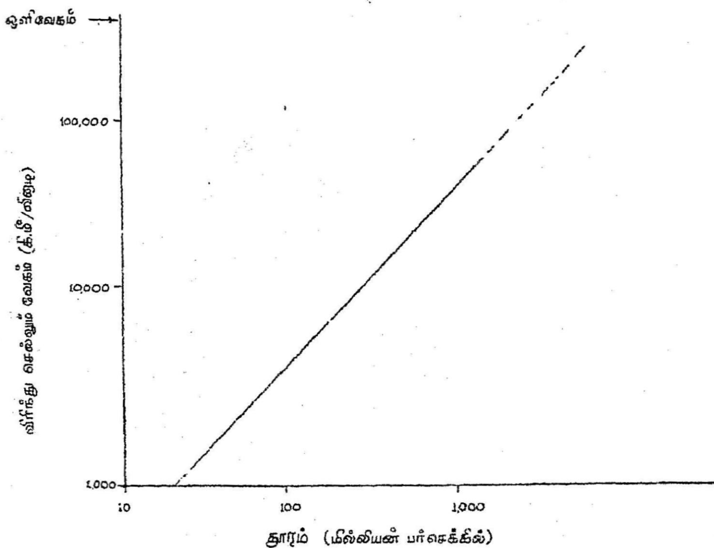
**விரிவடையும் பேரண்டம்** (Expanding universe)

பேரண்டத்தில் இரு பொருள்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை இரு விண்மீன் கூட்டங்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தின் அடிப்படை அளவில் அளக்கிறோம். ஆன்டர்மெடா நெபுலாவின் தூரத்தை அளந்து அதைக் கொண்டு மற்ற விண்மீன் கூட்டங்களின் தூரங்களை அளக்கிறோம். இதனால் வானியல் நிபுணர்கள் ஒவ்வொரு கூட்டத்திலுமுள்ள விண்மீன்களைத் தனித்தனியே ஆராய்ந்தனர். சுருள் வில் புயத்தில் உள்ள சில ஒளிமிகுந்த விண்மீன்கள் காலப் போக்கில் மாறிக் கொண்டே இருப்பது தெரிய வந்தது. இவற்றிற்கு மாறும் விண்மீன்கள் (Cepheides) என்பது பெயர். நம் விண்மீன் கூட்டத்தில் உள்ள விண்மீன்களை விட அவை மிகவும் பொலிவு குறைந்து காணப்பட்டன. ஏனெனில் அவை வெகு தொலைவில் இருந்தன. அவற்றின் தூரம் 440,000 பார்செக்குகள் ஆகும். அதாவது $1 \cdot 5 \times 10^6$ ஒளி ஆண்டுகளாகும். இந்த மாறும் விண்மீன்களைக் கொண்டு பல்வேறு விண்மீன் கூட்டங்களின் தூரங்களை ஆராய்ந்தனர். இன்னும் அதிக தூரத்தில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களைக் கூட மாறும் விண்மீன்களிலிருந்து வருகின்ற ஒளியைக் கொண்டும், இருமடி விதியைக் (inverse square law) கொண்டும், ஆராய்ந்தனர். இவ்வாரய்ச்சிகள் பிழையின்றி இருக்க முடியாது. பல்வேறு விண்மீன் கூட்டங்களை ஒரே தடவையில் எடுத்துக் கொண்டு ஆராய்வதன் மூலம் இப் பிழையை ஒருவாறு குறைக்கலாம்.

மிக அருகில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களைத் தவிர மற்றவற்றின் நிறமாலையில் நிறமாலைக் கோடுகள் சிவப்புப் பகுதியை

நோக்கித் தள்ளப்படுகின்றன. இதற்குக் காரணம் அந்த விண்மீன் கூட்டம் நம்மை விட்டு விலகிச் சென்று கொண்டே இருக்கிறது என்பதேயாகும். இதை நிறமாலைக் கோடுகளின் டாப்லர் இடப் பெயர்ச்சி என்கிறோம். சிவப்பு இடப் பெயர்ச்சி (Red shift) பல்வேறு தொலைவுகளிலுள்ள விண்மீன் கூட்டங்களுக்கு கணக்கிடப் பட்டுள்ளது. இக் கூட்டங்களில் தொலைவு அதிகமாக அதிகமாக இந்தச் சிவப்பு இடப் பெயர்ச்சியும் 75 கி.மீ./வினாடி/மில்லியன் பார்செக்குகள் வீதத்தில் அதிகரிக்கிறது. சிவப்பு இடப் பெயர்ச்சி விண்மீன் கூட்டங்கள் நம்மை விட்டு விலகிச் செல்ல ஏற்படுமானால், பிறகுப் பேரண்டம் முழுவதுமே விரிந்து சென்று கொண்டிருக்கிறது என்பது தெளிவாகிறது.

இப்பொழுது தொலைவு அறியப்பட்டுள்ள மிக அதிக தூரத்தில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்கள் 1000 மில்லியன் பார்செக்குகள் தூரத்தில் உள்ளன. அவை $6 \times 10^4$ கி.மீ/வினாடி வேகத்தில் நம்மை விட்டுச் சென்று கொண்டே உள்ளன.




படம் 2·9.

இது ஒளியின் திசை வேகத்தில் ஏறக் குறைய ஐந்தில் ஒரு பங்காகும். இதைவிட இன்னும் தொலைவிலுள்ள விண்மீன் கூட்டங்களையும் ஆராய முற்பட்டனர்; ஆனால் வெற்றி காண

முடியவில்லை; ஏனெனில் அவ்விண்மீன் கூட்டங்கள் மிகவும் பொலிவிழந்து காணப்பட்டன. மேலும் சிவப்புக் கோடுகளே பொலிவு குன்றிக் காணப்பட்டதால் அவற்றிற்கும் ஒரு திருத்தம் தேவைப்பட்டது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. The expansion of the universe — *By Couderc P.*
Translated — *By J. B. Sidgwick*

2. The Astronomical universe — *By Krogdahi W. S.*

3. Theories of universe — *By Munitz M. K.*

# 3. ரேடியோ வானியல்

## (Radio Astronomy)

ரேடியோ இடைவெளி (Radio Window)

மின்காந்த நிறமாலையில் ஒளியியல் இடைவெளி, ரேடியோ இடைவெளி என இரு பகுதிகள் இருப்பதாகவும், இவைகளில் ஒளியியல் இடைவெளி வழியே நெடுங்காலமாக ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டு வந்திருப்பதாகவும் மேலே கூறினோம். இதில் ரேடியோ பகுதி ஒரு செ. மீட்டர் அலை நீளத்திலிருந்து 30 மீட்டர் அலை நீளம் வரைப் பரவியுள்ளது என்றும் கூறினோம். 30 மீட்டர் நீளத்திற்குமேல், தொலைவிலுள்ள பொருட்களிலிருந்து வருகின்ற கதிர்வீசலின் அலை நீளம் இருந்தால் அவற்றை அயன மண்டலம் (Ionosphere) திருப்பியனுப்பிவிடுகின்றது. இந்த ரேடியோ சன்னல் வழியாகச் செய்யப்படும் ஆராய்ச்சிகளே ரேடியோ வானியல் என்பதாகும். சாதாரண மேகங்கள் வழியே ஒளி ஊடுருவிச் செல்லமுடியாது. எனவே ஒளியியல் வானியலில், வானம் தூய்மையாகவும், தெளிவாகவும் இருக்கவேண்டும். சூரிய நிறமாலையை (Solar spectrum) ஆராயும்பொழுது, வானம் தெளிவாக இருத்தல் வேண்டும் என்பது நாம் அறிந்ததே. ஆனால் ரேடியோ அலைகள் மேகத்தை எளிதாக ஊடுருவிச் செல்லுகின்றன. ஏனெனில் அவைகளின் அலை நீளம், துகள்களின் பருமனோடு ஒப்பிடும்பொழுது மிகமிக அதிகமாகும். எனவே ரேடியோ வானியலை வெப்ப தட்ப நிலைகள் பாதிக்கமாட்டா. மேலும் ரேடியோ அலைகளைப் பயன்படுத்துவதில் இன்னும் பல நன்மைகளும் உள்ளன.

இந்த ரேடியோ சன்னல் அண்மைக் காலம் வரையில் நன்கு பயன்படுத்தப்படவில்லை. ஏனெனில் ரேடியோ தொழில் நுட்ப முறைகள் தேவையான அளவு முன்னேற்றமடையவில்லை. குறிப்பாக இரண்டாவது உலகப் போரின் பொழுதும், அதன் பிறகுமே இத் துறை வெகுவாக வளர்ச்சியடைந்தது. இந்த இடைவெளி

மூலமாக வானிலுள்ள சந்திரன், வியாழன், வெள்ளி, சனி முதலிய கோள்களிலிருந்தும், சூரியனின் வாயு மண்டலத்திலிருந்தும், மற்றும் அண்டவெளியிலிருந்து அயனியாக்கம் அடைந்ததும், அயனியாக்கமுற்றதுமான ஹைடிரஜன் வாயுவும் காஸ்மிக் கதிர்களும் (cosmic rays), காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்களும், மற்றும் இதுவரை அறியப்படாத எண்ணற்ற ரேடியோ விண்மீன்கள் (radio stars) என்பனவற்றிலிருந்து அளவற்ற ஆற்றலும் ஒவ்வொரு வினாடியும் பெறப்படுகின்றன.

ரேடியோ அலைகள் என்று நாம் கூறுபவை ஏரியல் கம்பிகளில் (aerial wires) ஒரு மின்னோட்டம் நிகழும் பொழுது உண்டாக்கப்படுபவை என்று பொதுவாகக் கருதுகிறோம். வானில் இயங்கும் விண்மீன்களிலும், கோள்களிலும் இந்த ரேடியோ அலைகள் உண்டாக்கப்படும் முறை, நாம் ரேடியோ அலைகளை உண்டாக்கும் முறையிலிருந்து மாறுபட்டு உள்ளது. இத்தகைய அலைகளில் முதலில் நாம் வெப்ப அலைகளைப் பற்றித் தெரிந்து கொண்டோம். இந்த வெப்ப அலைகள் பிளாங்கின் (Planck) கருத்துப்படி ஒரு கரும் பொருளிலிருந்து (black body) வெளிவருவதாகக் கருதப்படுகிறது.

ரேடியோ அலைகளின் சில நன்மைகள்

பூமியின் அருகில் உள்ள மேகங்கள் வழியே ரேடியோ அலைகள் ஊடுருவிச் செல்கின்றன. இதைவிட முக்கியமானது, அண்டவெளியிலுள்ள மிகப் பெரிய துகள் மேகங்கள் (dust-clouds) மற்ற விண்மீன்களை மறைத்த போதிலும் அவைகளின் வழியே ரேடியோ அலைகள் ஊடுருவிச் செல்லுகின்றன என்பதாகும். இவ்வலைகளின் உதவியால் தூரத்திலுள்ள விண்மீன் கூட்டங்களையும் படம் பிடிக்க முடிகிறது.

எவ்வாறு நீர்த்துளிகளும், புழுதி மேகங்களும் ஒளி அலைகளைத் தடுத்து ரேடியோ அலைகளை ஊடுருவச் செய்கின்றனவோ அது போல் அயனி மேகங்கள் (clouds of ions) இதற்கு நேர் எதிர் விளைவுகளை உண்டாக்குகின்றன. சூரியனின் புறவளி மண்டலம் ஒளி அலைகள் ஊடுருவக் கூடியதாக அமைந்துள்ளது. எனவே சூரியனின் ஒளிப்புரைப் (photosphere) பகுதியை நாம் காண முடிகிறது. செந்நிறப் புரைப் (chromosphere) பகுதி ரேடியோ அலைகளுக்கு ஒளி கடத்தா ஊடகமாக (opaque) அமைகின்றது. இந்தப் புறவளி மண்டலமாகிய செந்நிறப் புரைப் பகுதியின் அலை நீளங்களில் நாம் காண்பது அயனியாக்கப்பட்ட வாயுவின் மண்டலமேயாகும்.

அண்டவெளியில் பல்வேறு முறைகளில் ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தி செய்யப்படுவது ரேடியோ வானியல், வானாராய்ச்சியில் முக்கியப் பங்கு பெற்றது. நமது விண்மீன் கூட்டம் (our own galaxy), மற்ற விண்மீன் கூட்டங்கள் ஆகியவற்றின் காந்தப் புலங்களில் சுழலும் காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்களே பெரும்பாலான ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. ஒரு சிறு பகுதி, மின்னூட்ட மற்ற ஹைடிரஜன் அணுவில் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் மாறுபடுவதினால் வெளியிடப்படுகிறது. இதனால் தோன்றும் நிறமாலைக் கோட்டிலிருந்து ஹைடிரஜன் அணுவின் பங்கீட்டையும், திசை வேகத்தையும் ஆராயலாம். ரேடியோ வானியலிலிருந்து நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் அமைப்பு, பால்வழியில் தோன்றுகின்ற வாயுத் துகள்கள் ஆகியவைகளைப் பற்றி நாம் கணிசமான அளவு தெரிந்து கொண்டுள்ளோம். நமது கண்ணிற்குப் புலனாகின்ற விண்மீன் கூட்டம் 10,000 ஒளி ஆண்டுகள் விட்டமுள்ள ஓர் ஒளி வட்டத்தால் (corona) சூழப்பட்டுள்ளது என்று வானியல் நிபுணர்கள் நிரூபித்துள்ளனர். இந்த ஒளி வட்டத்தை ரேடியோ அலைகளைக் கொண்டு மட்டுமே காணமுடியும். இந்த ரேடியோ அலைகளில் அண்டவெளியிலுள்ள காந்தப் புலத்தில் இயங்குகின்ற எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலை வெளிவிடும்பொழுது இந்த ஒளி வட்டம் நமது கண்ணிற்குப் புலனாகிறது. இந்த ரேடியோ வானியலின் புதிய கண்டுபிடிப்புகள் அண்டவெளி மின்னியக்கவியலில் (Electro dynamcis) புதிய ஐயங்களைத் தோற்றுவித்துள்ளன. இவைகளில் ஒன்று, விண்மீன் கூட்டங்களிலும் அவற்றிற்கு அப்பாலும் உள்ள செறிவு மிக்க காந்தப் புலமாகும்.

**ரேடியோ வானியலின் தொடக்க வரலாறு**

ரேடியோ வானியல், கி. பி 1894 — 1900 ஆகிய இடைப் பகுதியில் தோன்றியது. இந்த இடைவெளியில் ஆலிவர் லாட்ஜ் (Oliver Lodge) என்ற விஞ்ஞானியும், மற்ற ஜெர்மன் நாட்டு விஞ்ஞானிகளும் சேர்ந்து சூரியனிடமிருந்து வருகின்ற செ. மீ. அலை நீளங்களை அறிய முற்பட்டனர். இம் முயற்சிகளும், இதற்குப் பிறகு சுமார் 40 ஆண்டுகளில் நடந்த ஆராய்ச்சிகளும் போதிய தொழில் நுட்பக் கருவிகள் இன்மையால் தோல்வியுற்றன. 1932-ல் ஜான்ஸ்கி (Jan-key) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி ரேடியோ இரைச்சல்களை அடையாளம் கண்டு கொண்டார். பால் வழியின் திசையில் நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் மையத்திலிருந்து இத்தகைய ரேடியோ அலைகள் தொடர்ச்சியாக வருவதை அவர் கண்டார். இவருடைய ஆராய்ச்சிகளைத் தொடக்கத்தில் மற்ற விஞ்ஞானிகள் புறக்கணித்தனர். மீண்டும் 1944-ல் இவரது ஆராய்ச்சியை ரெபர் (Reber) என்பவர் தொடர்ந்தார் அவர்

தமது ஆராய்ச்சிகளுக்கு 31 அடி விட்டமுள்ள உலோக எதிரொளிக்கும் தகடுகளைப் பயன்படுத்தினர். தமது சோதனையில் பால் வழியின் பகுதியில் தொடர்ச்சியான பட்டைக் கதிர் வீசலையும், நூஸ் (Cygnus) என்ற விண்மீன் கூட்டத்தில் பல துணைப் பெருமங்களையும் கண்டார். மேலும் தரத்தில் உயர்ந்த கருவிகளைக் கொண்டு அடுத்தடுத்து சோதனைகள் செய்ததில், விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து எல்லாத் திசைகளிலும் ஆற்றல் வெளிவருவதும் பால் வழியின் திசையில் பெருமளவு ஆற்றல் வெளிவருவதும் தெளிவாயிற்று.

பிற்காலத்தில் சூரிய குடும்பத்திற்கப்பால் இருந்து ஆற்றல், விட்டு விட்டு (discontinuous) வெளி வருவதாகக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது, ரேடியோ அலைகளைப் பற்றிய முக்கியக் கருத்தாகும். 1946-ன் தொடக்கத்தில் இங்கிலாந்து நாட்டு விஞ்ஞானிகள், நூஸ் என்ற விண்மீனிலிருந்து வருகின்ற ஆற்றலில் 5 மீட்டர் அலை நீளத்தில் ஒழுங்கற்ற ஏற்ற இறக்கங்கள் இருப்பதைக் கண்டனர்; ஏற்ற இறக்கங்களை உண்டாக்குகின்ற மூலம் (source) 2 டிகிரிக்கும் (2°) குறைவான கோணத்தைப் பார்வைக் கோட்டில் தாங்கு வதாகக் கண்டனர். அடுத்த ஆண்டில் (1947) போல்டன் (Bolton), ஸ்டேன்லி (Stanley) என்ற ஆஸ்திரேலிய நாட்டு விஞ்ஞானிகள் இந்தக் கோணத்தை 8 நிமிடங்களுக்கு (8′) குறைத்தனர். அடுத்த 10 ஆண்டுகளில் அநேக அலை மூலங்கள் ஆற்றலைத் தொடர்ச்சியற்ற முறையில் வெளிவிடுவது உணரப் பட்டது. இவைகளில் ஒன்றோடு ஒன்று மோதிக் கொள்ளும் விண் மீன் கூட்டங்களும் (colliding galaxies) உள்ளன. இவைகள் ஒளி மூலங்களை விடச் சிறந்த மூலங்களாகப் பயன்படுகின்றன; சூரியனை விடப் பன்மடங்கு அதிக ஆற்றலையும் வெளிவிடுகின்றன. காட்டாக, நூஸ் என்ற விண்மீன் சூரியனைப்போல் $10^{18}$ மடங்கு ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றது.

இதற்குச் சில ஆண்டுகளுக்குப் பின் சூரியனும் ரேடியோ அலைகளை வெளிவிடுவது அறியப்பட்டது. 1936-ல் சூரியப் புள்ளியின் நிகழ்ச்சியின்போது ரேடியோ ஏற்பிகளில் பல வியத்தகு 'இஸ்' (hiss) எனும் இரைச்சல்கள் (noises) பெறப்பட்டன. இது ரேடியோவில், ஆற்றல் மறைதலின் பொழுது (Radio fade outs) நன்கு உணரப்பட்டது. இவை சூரியனிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளால் உண்டாக்கப்படுகின்றன என்று இப் பொழுது உணரப்பட்டுள்ளது. இருப்பினும் 1942-ல் இங்கிலாந்து நாட்டு விஞ்ஞானி ஹே (Hey) என்பவராலும், அமெரிக்க விஞ்ஞானி சௌத்வொர்த் (Southworth) என்பவராலும், இத்

தகைய ரேடியோ அலைகள் சூரியனிடமிருந்து ஏற்கப்பட்டதாக ஆதார பூர்வமாக நிலைநாட்டப்பட்டது. இராணுவ இரகசியத்தின் காரணமாக இத்தகைய அரிய கண்டுபிடிப்புகளை வெளியிடத் தாமதமாயிற்று. ஆனால் 1944-லேயே, 'இத்தகைய ரேடியோ அலைகள் சூரியனிலிருந்து வர வேண்டும்' என்று ரெபர் யூகித்தார். ஹேயின் காட்சிப் பதிவுகள் மீட்டர் அலை நீளங்களில் இருந்தன. அவை சூரியப் புள்ளிகளுடன் கூட, பொலிவு நிறைந்த அடிக்கடி மாறுகின்ற துணைக் கோள்கள் இருக்க வேண்டும் என்பதை நிரூபித்தன. சௌத்வொர்த்தின் கண்டுபிடிப்புகள் மி.மீட்டர் அலை நீளங்களில் இருந்தன. இவை, வெப்ப ஆற்றல் தொடர்ந்து வெளியிடப்படுவதை உணர்த்தின.

மேற்கூறப்பட்ட கண்டுபிடிப்புகள் யாவும், ரேடியோ-தொடர்-வெளிவிடு (Radio continuum emission) ஆற்றலையேச் சார்ந்திருந்தன. இது வரி நிறமாலை ஆற்றலுக்கு எதிரானது. இந்த வரி நிறமாலை (line spectrum) ஓர் அணுவில் ஓர் எலக்ட்ரான் தன் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து வேறொரு சுற்றுப் பாதைக்குத் தாவுகின்ற பொழுது ஏற்படுவதாகும். ஒளியியல் வானியலில் இத்தகைய வரிகள் பெருமளவு பயன்படுகின்றன. நெதர்லன்ட் நாட்டு விஞ்ஞானி வான்-டி-ஹஸ்ட் (Van-de-Hust) என்பவர் 1945-ல் மின்னூட்டமற்ற ஹைடிரஜனின் இத்தகைய வரி நிறமாலைக் கோடு, ரேடியோ நிறமாலையிலும் காணப்படலாம் என்று கூறினார். இது, 1951-ல் அமெரிக்க விஞ்ஞானிகளான யூவன் (Ewen), பர்செல் (Purcell) என்பவர்களால் அறியப்பட்டது. இதிலிருந்து ரேடியோ வானியலில் ஒரு புதிய பகுதி தோன்றியது. இப் பகுதி அண்டவெளியிலுள்ள ஹைடிரஜன் அணுவின் அடி நிலையை (ground state) முதன் முதலில் நேரடியாக ஆராய வழி உண்டாக்கியது. இந்த வாயு, பேரண்டத்தில் பெரும் பகுதியை நிரப்புகின்றது. மேலும் வரி நிறமாலைக் காட்சிப் பதிவுகளிலிருந்து டாப்ளர் பெயர்ச்சி (Doppler shift) மூலம் ஹைடிரஜன் வாயுவின் திசை வேகமும் அறியப்பட்டது. ஹே, ஸ்டூவார்டு போன்ற விஞ்ஞானிகளால் புதியதொரு வானியல் ஆராய்ச்சியும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இம் முறையில் ரேடியோ அலைகள், எரிமீன்களின் அயனியாக்கமடைந்த பாதைகளிலிருந்து திருப்பப்படுகின்றன என்பதும் தெரிந்தது. இதிலிருந்து ஒரு நாளில் எந்த நேரத்திலும் எந்தத் தட்ப வெப்ப நிலையிலும் வளி மண்டலத்தை அடைகின்ற எரி விண்மீனை ஆராய முடிந்தது. இந்த வானியல் பகுதிக்கு 'ராடார் வானியல்' (Radar Astronomy) என்பது பெயர். இம் முறையில் வானவெளிப் பொருட்களிலிருந்து வெளிவருகின்ற ரேடியோ அலைகளை நேரடியாக ஆராய்வதில்லை; ஆனால் பார்வையாளரால்

(observer) அனுப்பப்பட்ட ரேடியோ அலைகளின் எதிரொளிப்புகளையே ஆராய்கிரோம். இம் முறையில் சந்திரன், கோள்கள் (planets), சூரிய குடும்பம் ஆகியவை ஆராயப்பட்டுள்ளன.

உலகத்தின் மிகப் பெரிய தொலை நோக்கி (The world's largest radio telescope) : பூமிக்கு அப்பால் இருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளை அறிவதற்குத் தேவையான முழு உபகரணமும் ரேடியோ தொலை நோக்கி என்று அழைக்கப்படுகிறது. இதைப் பற்றி விரிவாகப் பின்னர் கூறப்படும். பெரிய ரேடியோ தொலை நோக்கியில் மிக முக்கிய பகுதி ஏரியல் அணி (aerial system) ஆகும். இதிலுள்ள மற்ற பகுதிகள் கணிசமான அளவு ஒருவாறு படித்தரப்பட்டு விட்டதால், ரேடியோ தொலை நோக்கியைப்பற்றிக் கூறும் பொழுது ஏரியல் அணி முறையைப் பற்றியே விரிவாகக் கூற வேண்டும்.

ஏரியல்கள் பருமனிலும், தொழிற்படு திறனிலும் போதுமான அளவு முன்னேறியுள்ளன. ஏரியல்களைத் தயாரிக்கும் பொழுது அவற்றிற்கு ஆகும் செலவே ஒரு பெரிய இடையூருக இருக்கின்றது. எனவே, குறைந்த செலவில் சிறந்த ஏரியல்களைத் தயாரிக்கும் முறைகள் கையாளப்பட்டன. ஏரியல்களில் மிகவும் பிரசித்தி பெற்றது எத்திசையிலும் திருப்பக் கூடிய பரவளைய ஏரியல் (fully-steerable paraboloid) ஆகும். இதைத் தயாரிக்கும் பொழுது ஆகும் செலவைப் பெரும்பாலான நாடுகள் பொருட்படுத்துவதில்லை. இந்த ஏரியலின் தோற்றம் மிகக் கவர்ச்சிகரமாக இருப்பதுடன் இதை, நாம் விரும்பும் முறையில் உபயோகப்படுத்தலாம். இத்தகைய ஏரியல்களில் மிகவும் சிறந்தது இங்கிலாந்து நாட்டிலுள்ள 250 அடி விட்டமுள்ள ஏரியலாகும்.

பரவளைய ஏரியல்களில் மோதுகின்ற இணை அலைகளை (parallel waves) ஒரு புள்ளியில் குவித்து, அவற்றைச் சேகரித்து ஓர் ஏற்பிக்கு எளிதாகக் கொடுக்கலாம். இதன் காரணமாகவே பரவளைய ஏரியல்கள் மற்ற ஏரியல்களைவிடச் சிறந்தவை எனக் கருதப்படுகிறது. இவைகளின் விலை மிகவும் அதிகமாக இருப்பதற்கு, இவைகளின் பருமனும், பரப்பும் துல்லியத் தன்மையும் காரணங்களாகும். காட்டாக, 10 செ.மீட்டர் அலைகளைப் பெற வேண்டியிருந்தால் இத்தகைய ஏரியல்களின் பரப்பு, உண்மையாகத் தேவைப்படும் பரப்பைவிட $\frac{5}{8}$ அங்குலத்திற்குமேல் விலகக் கூடாது. 250 அடி விட்டமுள்ள ஓர் ஏரியலின் பரப்பு சுமார் ஓர் ஏக்கரை விட அதிகமாக இருக்கும். இத்தகைய பெரிய ஏரியலை நிர்மாணிப்பது, அந்த ஏரியல் நிலையாகவும், தேவையான அளவு காற்றிலிருந்து மறைக்கப் பட்டுமிருந்தால் எளிதாகும். ஆனல்

வானத்தில் எத்திசையை நோக்கி வேண்டுமானுலும் அது சுற்றிக் கொண்டே இருக்க வேண்டும். எனவே புவி ஈர்ப்பு விசையினுலும் காற்றின் விசையினுலும் இத்தகைய ஏரியல்களில் உருக் குலைவு நிகழ்கின்றது.

சுமார் 10 ஆண்டுகளுக்கு முன்புகூட 100 அடி விட்டமுள்ள, இயங்குகின்ற பரவளைய ஏரியல்களைச் செய்வது எளிதாகவும், அவைகளுக்காகும் செலவு 100,000 பவுன்களாகவும் இருந்தது. ஆனுல் 250 அடி விட்டமுள்ள ஏரியல்களைச் செய்வதற்கு ஒரு மில்லியன் பவுன்கள் தேவைப்பட்டன. பரவளைய ஏரியல்களின் விட்டம் 80 அடியிலிருந்து 90 அடிக்குள்ளாக இருக்கும் பொழுது கூட அது ஒரு சிறந்த தொலை நோக்கியாகக் கருதப்படுகிறது. ஆனுல் அது 10 செ. மீ. அலை நீளத்தில் இயங்கக் கூடியதாக இருக்க வேண்டும். எனவே, இத்தகைய ஏரியல்களை உலகில் பல நாடுகள் தயாரிக்க முற்பட்டன. முதன் முதலாக, ஹாலந்து நாட்டில் 1956-ல் இத்தகைய ஏரியல் தயாரிக்கப்பட்டது. பின்னர், மேற்கு ஜெர்மனி, ரஷ்யா, அமெரிக்கா ஆகிய நாடுகளில் இவை தயாரிக்கப்பட்டு இப்பொழுது உபயோகத்திற்கு வந்துள்ளன. அமெரிக்காவில் கடற்படை ஆராய்ச்சிக் கூடத்தில் உள்ள 50 அடி விட்ட ஏரியல், அளவிலும், உருவத்திலும் சிறியதாக இருந்தாலும் கூட, ஒரு செ. மீட்டர் வரையிலான அலைகளைப் பெறக் கூடியதாக இருப்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இங்கிலாந்து நாட்டில் உள்ள 250 அடி விட்டமுள்ள ஏரியல் 20 செ. மீ. அலை நீளம் வரையில் உள்ள அலைகளையே பெறக் கூடியது. இதுவே உலகில் மிகப் பெரிய தொலை நோக்கியாக 1962 வரையில் இருந்தது. 1962-ல் ஐக்கிய அமெரிக்கக் கடற்படையில் 600 அடி விட்டமுள்ள பரவளைய ஏரியல் உருவாக்கப்பட்டது.

1956-ல் மேலும் இரு புதிய ஏரியல்கள் கட்டத் தொடங்கப் பட்டன. இவைகள் 10 செ. மீ. அலை நீளம் வரையில் இயங்கக் கூடிய 210 அடி விட்டமுள்ள ஏரியலாகும். இது ஆஸ்திரேலி யாவில் நிறுவப்பட்டது. மற்ருென்று, 140 அடி விட்டமுள்ள ஏரியலாகும். இது அமெரிக்காவில் உள்ள ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சிக் கூடத்தில் கட்டப்பட்டது. ரேடியோ வானியலில் தோன்றிய ஆராய்ச்சிகளின் பயனுக, 600 அடிகள் முதல் 1000 அடிகள் வரை விட்டமுடைய ஏரியல்கள் புதிதாகக் கட்டப்பட்டன. இவைகளில் மூன்று அமெரிக்காவில் உள்ளனவாகும்.

1962-ல் அமெரிக்காவில் புதிதாக ஓர் ஏரியல் கட்டப் பட்டது. இதன் உயரம் 700 அடிகளும், விட்டம் 600 அடிகளு

மாகும். இதன் பரப்பளவு ஏழு ஏக்கர்களுக்கும் அதிகமானது. இதை நிறுவ ஆன செலவு 80 மில்லியன் டாலர்களாகும். இதை நிறுவுவதற்கு 20,000 டன் எஃகும், 600 டன் அலுமினியமும், 14,000 கன கெஜம் 'கான்கிரீட்டும்' தேவைப்பட்டன. இந்தப் பரவளைய ஏரியலைத் தகுந்தபடி சுழற்றி, 0 டிகிரி முதல் 90 டிகிரி வரையிலான எந்தக் கோணத்தில் உள்ள பகுதியையும் துருவ முடியும். இதன் முழு அமைப்பும் $\frac{1}{3}$ மைல் நீளமுள்ள வட்ட அமைப்பில் நிறுவப்பட்டது. தேவையானபொழுது இதை 360 டிகிரி வரை சுழற்றலாம். எனவே, எந்தப் பகுதியையும் துருவக் கூடிய ஒரு வாய்ப்பு உள்ளது. பரவளையப் பகுதி அலுமினியக் கம்பி வலையினால் செய்யப்பட்டிருந்தது. இது ஒரு மிகச் சிறந்த ஏரியலாகும்.

இந்த மாபெரும் ரேடியோத் தொலைநோக்கியை, உலகத்தி லுள்ள மாபெரும் ஒளியியல் தொலைநோக்கியோடு ஒப்பிட்டுப் பார்ப்பது சாலச் சிறந்ததாகும். மவுண்ட் பாலோமரில் (Mount Palomar) உள்ள இம் மாபெரும் ஒளியியல் தொலைநோக்கி 200 அங்குலப் பரவளையத்தை உடையது. இது 500 டன் எடை யுடையது. இதைத் தயாரிப்பதற்கான செலவு, மேலே சொல்லப் பட்ட ரேடியோத் தொலைநோக்கியைத் தயாரிப்பதற்கான செலவில் $\frac{1}{7}$ பங்கேயாகும். ஆனால், இந்த ஒளியியல் தொலைநோக்கி, ரேடியோத் தொலைநோக்கியைவிட ஒரு விதத்தில் சிறந்தது. எந்த ஒரு தொலைநோக்கியின் பகு திறனும் (resolving power), எதிரொளிப்பானின் விட்டத்திற்கும், உபயோகப்படுத்துகின்ற அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தகவைப் பொறுத்தது. ரேடியோ தொலைநோக்கியின் விட்டம், ஒளியியல் தொலைநோக்கியின் விட்டத்தைவிட 36 பங்கு அதிகமானது. ஆனால், ஒளியின் அலை நீளம் மிகச் சிறியதானதால் $\left(\frac{1}{50,000} \text{ அங்குலம்}\right)$. ஒளியியல் தொலைநோக்கியின் பகுதிறன், ரேடியோத் தொலைநோக்கியின் பகுதிறனைவிட 10,000 மடங்கு அதிகமாகும். எனவே ரேடியோத் தொலைநோக்கியின் குறைந்த பகுதிறன், ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்களுக்குச் சிறிது இடையூற்றை விளைவித்தது. இதை நீக்குவதற்கு அவர்கள் இரண்டு தனித்தனி ஏரியல்களை, ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று பல மைல்களுக்கப்பால் இருக்கும்படி வைத்துத் தங்கள் ஆராய்ச்சிகளைத் தொடர்ந்தனர். இந்த அமைப்பு, குறுக்கீட்டு விளைவுமானி (interferometer) என்றழைக்கப் பட்டது. இதன் பகுதிறன் அந்த இரு ஏரியல்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தைச் சார்ந்தது; அவைகளின் தனித்தனி விட்டங்களின் மதிப்பைப் பொறுத்தில்லை.

முழுமையாகச் சுழற்றக்கூடிய பரவளையங்கள், தொலைநோக்கி களிலேயே மிக உயர்ந்த வகையாகும். இவைகளைத் தயாரிக்கும் பொழுது செலவையோ, தேவையான பொருட்களையோ கவனத் தில் கொள்ளல் கூடாது. பரவளையத்தைச் சுழற்றுகின்ற முறை யைத் தவிர்த்தால் செலவு மிகவும் குறையும். ஆனால் அத்தகைய ஏரியல்கள் மிகுதியாகப் பயன்படா. சில பரவளையங்கள், பூமியின் சுழற்சியைப் பொறுத்து மேலும் கீழுமாகச் சாயும்படி அமைக்கப் பட்டுள்ளன. கிழக்கு ஜெர்மனியில் உள்ள 120 அடி விட்ட முள்ள பரவளைய ஏரியல் இதற்குச் சான்றாகும்.

சில பரவளையங்களை பூமியிலோ அல்லது ஒரு குன்றின் பக்கத் திலோ துளையிட்டு அமைத்துள்ளார்கள். பரவளையத்தின் பரப்பு மிகவும் கவனமாகத் தயாரிக்கப்பட்டு பிறகு கான்கிரீட்டால் மூடப் பட்டு அதன்மேல் உலோகப் பூச்சோ அல்லது கம்பி வலையோ கொடுக்கப்படுகிறது. இது நிலையான உறுதியான ஓர் ஏரியல் அமைப்பாகும். சுழல்கின்ற ஏரியல்களைப்போல் இது லேசில் கெடுவதில்லை. இத்தகைய ஏரியலில் கதிரைச் சுழற்றியே பொருளை ஆராயவேண்டும்.

கார்னல் பல்கலைக் கழகத்தில் உள்ள 1000 அடி கோள எதிரொளிப்புப் பரப்பையுடைய தொலைநோக்கி தரையைத் துளை யிட்டு நிறுவப்பட்டுள்ள தொலைநோக்கிகளில் மிகப் பெரியதாகும். இது முக்கியமாக, வானில் உள்ள கோள்களை, ராடார் துடிப்பு களைக் கொண்டு ஆராய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. பர வளையப் பரப்புகளைவிடக் கோளப் பரப்புகள் ஒரு விதத்தில் சிறந் தவை. கோளப் பரப்புகளில் துடிப்பைப் பல்வேறு கோணங் களிலும் அனுப்பலாம். ஆனால் இவைகளில் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலைப் பெறுவதில் சில இடையூறுகள் தோன்றுகின்றன. ஏனெனில் பரவளையப் பரப்பில் ஆற்றல் ஒரு புள்ளியில் குவிக்கப் படுவதைப்போல் அல்லாமல் கோள வடிவ ஏரியலில் ஆற்றல் ஒரு கோட்டின் வழியே குவிக்கப்படுகிறது. இத்தகைய மற்றொரு தொலைநோக்கி இல்லிநாய்ஸ் (Illinois) பல்கலைக் கழகத்தில் கட்டப் பட்டுள்ளது. இது ஒரு மலைப் பள்ளத்தாக்கில் 600′ × 400′ தோண்டப்பட்டுள்ள ஓர் அமைப்பில் உள்ளது. இதன் அமைப்பு பரவளைய உருளை (Parabolic cylinder) வடிவத்தில் அமைக்கப் பட்டுள்ளது. இதில் எதிரொளிக்கப்படும் அலைகள் ஒரு புள்ளியில் அல்லாமல் முக்கிய அச்சில் குவிக்கப்படுகின்றன. அங்கிருந்து அவை 300 இருமுனை ஏரியல்களால் (dipole aerials) சேகரிக்கப் படுகின்றன. இந்த இருமுனை ஏரியல்கள், நான்கு 165 அடி உயர முள்ள கோபுரங்களின்மேல் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. 50 செ. மீ.

அலை நீளத்தில் இத் தொலைநோக்கியின் கற்றை அகலம் (beam width) 20 நிமிடங்களாகும் (20′).

மேலே கூறப்பட்டவைகளைத் தவிர தொலைநோக்கியின் ஏரியல்களில் பல்வேறு மாற்றங்கள் அண்மையில் செய்யப்பட்டுள்ளன. இரண்டு அல்லது மூன்று அல்லது நான்கு ஏரியல்களை, தகுந்த தூரங்களில் வைத்து ஒரு குறுக்கீட்டு விளைவு மானியை ஏற்படுத்தி, ரேடியோ விண்மீன்களின் இருப்பிடங்களைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடுகின்றனர். ஏரியல்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் அதிகம் இருந்தால் அவைகளின் பரப்பு குறைவாக இருந்த பொழுதும், அவற்றின் பகுதிறன் அதிகரிக்கின்றது. இத்தகைய ஏரியல்களில் ஒன்று கலிபோர்னியாவில் உள்ள தொழில் நுணுக்க ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் உள்ளது. இதில் இரண்டு, 90 அடி விட்டமுள்ள, எத்திசையிலும் சுழலக்கூடிய பரவளையப் பரப்புகள் உள்ளன. இவை ரயில் பாதைகளின்மேல் நிறுவப்பட்டுள்ளன. அப் பாதைகளில் ஒன்று, வடக்கு — தெற்காகவும், மற்றொன்று கிழக்கு — மேற்காகவும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் இந்த இரு பரவளையப் பரப்புகளையும் எந்நிலையில் வேண்டுமானாலும் நம் விருப்பப்படி அமைத்துக் கொள்ளலாம். இந்த ஏரியல் 3 செ. மீ. அலை நீளம் வரையில் இயங்கக்கூடியது. இத்தகைய ஏரியல் ஃபிரான்சு நாட்டில் நான்கே (Nanke) என்ற இடத்தில் உள்ளது.

கேம்பிரிட்ஜில் உள்ள முல்லார்டு ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் (Mullard Radio Astronomy observatory), ஒரு மீட்டர் அலை நீளத்தில் இயங்குகின்ற ஒரு பெரிய குறுக்கீட்டு விளைவுமானி சில ஆண்டுகளாக உபயோகத்தில் இருந்து வருகின்றது. இதனால் பரவளையப் பரப்புகளுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை மாற்றக்கூடிய வசதியுள்ளது. அதன் பரவளைய உருளைகள் கம்பிகளினால் ஆக்கப்பட்டுள்ளன. ஏனெனில் இவற்றின் விலை மலிவு; மேலும் மீட்டர் அலை நீளங்களில் அவை துல்லியமாக இயங்குகின்றன. 3,300 அடி நீளமும், 40 அடி அகலமும் உள்ள ஒன்றை நிலையாக வைத்துக்கொண்டு, இதைவிடச் சிறிதான மற்றொன்றை ரயில் பாதையின்மேல் நகர்த்தி இந்தக் குறுக்கீட்டு விளைவுமானியை இயங்குகின்றனர். இதனால் துளைச் சேர்க்கை (aperture synthesis) என்ற முறையால் பொலிவின் விளைவை வரைபடமாக வரையமுடிந்தது.

### ரேடியோ வானியலின் எதிர்காலம்

1958-ல் எடுக்கப்பட்ட கணக்குப்படி, உலகில் 50-க்கு மேற்பட்ட ஆராய்ச்சிக் கூடங்கள் இருந்தன. இந்த எண்ணிக்கை

1961-ல் 100 ஆகவும், 1970-ல் 250 ஆகவும் உயர்ந்தது. இந்த ஆராய்ச்சிக் கூடங்கள் 30-க்கு மேற்பட்ட நாடுகளில் நிறுவப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய நிலையங்களில் சென்ற பத்தாண்டுகளில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்களைச் சுருக்கமாகக் கூறலாம்.

இதுவரையில் கண்டறியாததும் வெகு அரிதாக உள்ளதும் மிகத் தொலைவில் உள்ளதுமான, சில ஒளி பொருந்திய ரேடியோ விண்மீன்கள் இப்பொழுது கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை வெகு தூரத்தில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களில் காணப்படுகின்றன. இந்த ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்கள் (radio galaxies) பல நூறு மில்லியன் கணக்கான ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் இருந்த போதிலும், நாம் எளிதாக உணரக்கூடிய அளவு ஆற்றலைத் தருகின்றன. எனவே பகுத்தற்குத் தேவையான அளவு ஆற்றலைத் தருகின்ற விண்மீன் கூட்டங்களும், ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்கள் என்றாகின்றன. நம்மிலிருந்து அவைகளின் தூரம் அதிகமாக இருப்பதால், அவைகளிலிருந்து பெறப்படும் சைகைகளின் வலிவு மிகவும் குறைவாக உள்ளது. இந்த விண்மீன் கூட்டங்கள் ஒளியியல் வானியல் மூலம் அறியப்படும் விண்மீன் கூட்டங்களைவிடப் பல ஆயிரம் ஒளி ஆண்டுகளுக்கப்பால் இருக்க வேண்டும். சில அண்டவெளிக் கோட்பாடுகளின்படி (cosmological theory), இந்தத் தொலைவில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களில், ஆயிரம் ஆயிரம் மில்லியன் ஒளி ஆண்டுகளுக்கு முன் கிளம்பிய ரேடியோ அலைகள் பூமியை நோக்கி இன்னும் வந்துகொண்டிருக்கவேண்டும். இவைகள் முழுமையாக ஆராயப்பட்டவுடன் பெறப்படும் முடிவுகள், அண்டவெளி ஆராய்ச்சியில் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தனவாக இருக்கும். குற்றலைகளைப் பயன்படுத்தி அண்மையில் உள்ள சில விண்மீன் கூட்டங்களைத் தெளிவாக ஆராய்ந்து அவற்றின் அமைப்பைக் (structure) கண்டு பிடிக்கலாம். நமது விண்மீன் கூட்டத்தையே விரிவாக ஆராய்ந்து அதனுடைய உட்கரு, ஒளி வட்டம் ஆகியவற்றைப் பற்றியும் விவரமாக அறியலாம். இவைகளை ஒளியியல் முறையில் அறிய முடியாததால் இவை மிகச் சமீபத்திலேயே கண்டு பிடிக்கப்பட்டன. இவைகளைக் கொண்டு, விண்மீன் கூட்டங்களின் சுருள்வில் புயங்கள், காந்தப் புலங்கள், காஸ்மிக் கதிர்கள் ஆகியவற்றைப் பற்றியும் தெளிவாக அறியலாம். அநேகமாக, இந்த விண்மீன் கூட்டங்களின் பிறப்பு, அவைகளின் இறப்பு (death) ஆகியவற்றைப் பற்றிச் கூட அறியலாம்.

ஒரு விண்மீன் கூட்டத்திற்குள்ளேயே பல தனித் தனியான ரேடியோ அலை மூலங்கள் உள்ளன. இவைகளில் சில, பல நூறு ஆண்டுகளுக்கு முன்பு விண்மீன்கள் வெடித்தமையால் உண்டான

வையாகும். இவைகளுக்கு மீப்பெரு ஒளிர்மீன்கள் (Super novae) என்பது பெயர். மீப்பெரு ஒளிர்மீன்களைப் பற்றிப் பல ஆண்டுகளாக ஆராய்ந்து வந்த போதிலும், அண்மையில்தான் அவற்றிலிருந்து காஸ்மிக் கதிர்களும், காந்தப் புலங்களும் பெருமளவு உண்டாக்கப் படுகின்றன என்பதும், இவற்றின் அளவு சூரியன் வெளிவிடும் ஆற்றலை விட ஆயிரக்கணக்கான மடங்கு அதிகம் என்பதும் உணரப்பட்டது. இந்த மீப்பெரு ஒளிர்மீன்கள், மின்னியக்க வியல் (Electro - dynamics), காஸ்மிக் கதிர் தெரியியல் (Cosmic ray Physics), அணுக்கரு தெரியியல் (Nuclear Physics), ஒளியியல், வானியல், ரேடியோ வானியல் ஆகியவற்றில் விரிவாக ஆராயப் பட்டு வருகிறது.

நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் பல ஒளியாண்டுகள் தூரம் வரைப் பரவியுள்ள ஹைடிரஜன் வாயுவும் ரேடியோ அலைகளை வெளிவிடு கின்றது. இவைகளுள் சில அதிக வெப்பநிலையில் உள்ள விண்மீன் களால் அயனியாக்கப்படுகின்றன. எனவே சூரியனைவிட ஆயிரக் கணக்கான பங்கு ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது. ரேடியோ வானியலிலிருந்து இப்பகுதிகளின் அடர்த்தி (density), வெப்பநிலை, பரப்பு ஆகியவற்றை அறிகிறோம். எனவே, மறைமுகமாக அயனி யாக்கத்திற்குக் காரணமான விண்மீன்களைப் பற்றியும் அறிகிறோம். மற்ற வாயுக் கூட்டங்களின் அருகே ஒளி பொருந்திய விண்மீன்கள் இல்லாததால் அவை குளிர்ந்து இருளாகக் காட்சியளிக்கின்றன. ஆகவே அவற்றை ஒளியியல் தொலை நோக்கிகளைக்கொண்டு ஆராய முடியாது. ஆனால் ரேடியோ தொலை நோக்கிகளைக் கொண்டு அவற்றை ஆராய்ந்து, அவற்றின் அடர்த்தி, வேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிட்டு அவற்றின் அமைப்பைப் பற்றி அறியலாம்.

அண்மையில், சில அருகில் உள்ள விண்மீன்களிலிருந்தும் கூட ரேடியோ அலைகள் பெறப்பட்டுள்ளன. காட்டாக, சூரியனைச் சொல்லலாம். இதன் ரேடியோ அலைகள் செறிவு குறைந்து இருந்த போதிலும் ஒரே நிலையாகவும், சில சமயங்களில் செறிவு அதிக ரித்தும், ஓர் ஒழுங்கற்ற முறையிலும் வெளி வருகின்றன. பூமியில் உண்டாக்கப்படும் ரேடியோ அலைகளைப் போல் இவை சுமார் 10,000 மில்லியன் மடங்கு வலுவுள்ளனவாகக் காணப்படுகின்றன. அதாவது சூரியனைப் போல் 100,000 பங்கு தொலைவிற்கப்பால் உள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து அவை வருவதாக நாம் கொண்டாலும் அவற்றை நம்மால் உணர முடியும். சூரியன் எட்டு ஒளி நிமிடங்கள் தொலைவில் உள்ளதாக முன்னரே கூறப்பட்டது. சூரியனின் ஆற்றலை அளவாகக் கொண்டால், இப்போதைய கருவிகளைக்

கொண்டு 1½ ஒளி ஆண்டுகளுக்கப்பால் உள்ள பொருள்களையும் ஆராய முடியும். நமக்கு மிக அருகில் உள்ள வேறொரு விண்மீன் 4·3 ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தில் உள்ளது. சுமார் 12 ஒளி யாண்டுகள் தொலைவினுள் 30 விண்மீன்கள் உள்ளன. இவைகளை யெல்லாம் காண வேண்டுமானால், இவைகளிலிருந்து வரும் ஆற்றல் சூரியனிடமிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலைப்போல் பன்மடங்கு இருக்க வேண்டும். ஆனால் இது அவசியமல்ல. இவைகளின் ரேடியோ உணர்வு நுட்பம் சிறிது அதிகமாக இருந்தால்கூட அவை 5-லிருந்து 15 ஒளி ஆண்டுகள் தூரத்தில் இருக்கும் பொழுது அவைகளை அறிந்துவிடலாம். இத்தகைய முயற்சிகள் சிட்னியில் (Sydney) வெற்றிகரமாக மேற்கொள்ளப்பட்டன.

ஒரு குறிப்பிட்ட விண்மீனை ரேடியோத் தொலை நோக்கியால் காணும் பொழுது, அந்த விண்மீனைச் சுற்றி வருகின்ற கோள்களும் (planets), அக் கோள்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களும் தெரிகின்றன. அவைகளிலிருந்து கூட அங்குள்ளோர் நமது பூமியைப் பற்றி ஆராயலாம் என்று கருத இடமிருக்கிறது. நமது ரேடியோ ஏற்பிகள் தொலைவிலிருந்து வருகின்ற மிக மிக அற்பமான எண்ணிறந்த ரேடியோ அலைகளையும் பெறக்கூடிய திறனைப் பெற்றிருந்தால் நிச்சயமாக மற்ற விண்மீன்களிலிருந்து வரக்கூடிய ஆற்றல்களை நாம் உணர முடியும். இது மிகக் கடினமாகத் தோன்றினாலும் இதில் நாம் வெற்றி பெற்றுவிட்டால் தெரியியலுக்கு ஒரு புதிய சகாப்தம் தோன்றியது போலாகும். இந்த நோக்கத்தோடு மேற்கு வர்ஜீனியா நாட்டில் 1959-ல் 11 ஒளியாண்டுகள் தூரத்திலுள்ள டௌ செடி (Tau Ceti), எப்சிலான் எரிண்டி (Epsilon Erindi) ஆகியவற்றை ஆராயத் தொடங்கினர்.

சூரிய குடும்பத்தைப் பற்றி ரேடியோ அலைகளைக் கொண்டு நாம் ஆராயும் பொழுது அவற்றை மூன்று வகைப்படுத்தி ஆராய வேண்டும். அவை (i) சூரியனிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகள் (ii) சந்திரன், கோள்கள். ராக்கெட்டுகள், துணைக் கோள்கள் (satellites) ஆகியவற்றிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகள். (iii) ராடார் வானியல் என்பனவாகும். சூரியனிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகள், அவற்றைப்பற்றி நிறையச் செய்திகளைத் தந்துள்ளன. மேலும் நடை பெற்றுக் கொண்டிருக்கும் ஆராய்ச்சிகள் சூரியனில் ஏற்படுகின்ற மாற்றங்களுக்கான காரணங்களையும் அம் மாற்றங்களால் பூமியில் ஏற்படும் விளைவுகளையும் விளக்குமென எதிர்பார்க்கப் படுகிறது. ஒரு வேளை, இவைகளிலிருந்து, காந்தப் புயல்களுக்கான (magnetic storms) காரணங்களையும், செய்திகள் இருட்டடைப்புக்கான (communications blackouts)

காரணங்களையும் கூட அறியலாம். கோள்களின் மேற் பரப்புகளி லிருந்தும், வளி மண்டலத்திலிருந்தும் வரும் கதிர் வீச்சுகளி லிருந்தும், அவைகளின் மேற் பரப்புகளில் எதிரொளித்து வருகின்ற ரேடியோ எதிரொளிப்புகளிலிருந்தும் கோள்களைப் பற்றி விரிவாக ஆராயப்பட்டு வருகின்றது. இந்த இரண்டாவது பகுதியே ராடார் வானியல் எனப்படுவதாகும். மிக விரைவில் கோள்களின் வெப்ப நிலைகளையும், சுழற்சிகளையும் மேற்பரப்பின் தன்மைகளையும், கோள்களின் துல்லியமான தூரங்களையும் நாம் அறியக் கூடிய வாய்ப்புகள் உள்ளன. சந்திரனைப் பொறுத்த வரையில், சைகை களைச் சந்திரனுக்கு அனுப்பி, அவற்றைப் பூமியில் திரும்பப்பெற்று, அதன் மூலம் பூமியில் இரண்டு இடங்களுக்கிடையே செய்திகளை அனுப்பும் முறை வெகுவாக முன்னேற்றம் அடைந்துள்ளது. ரேடியோத் தொலை நோக்கிகளின் உணர்வு நுட்பத்திற்கு எல்லையே இல்லை. எந்த ஒரு நாடாவது 1000 மில்லியன் பவுன்களைச் செல வழித்து ஒரு சுழலக் கூடிய பரவளைய ஏரியலை நிர்மாணிக்க முற்பட்டால் அந்த ஏரியலின் விட்டம் 2500 அடி இருக்கும். பகு திறன், தற்பொழுது கிடைப்பதைப்போல் நூறு பங்கு அதிக மாகவும் இருக்கும். விரைவில் இத்தகைய ரேடியோத் தொலை நோக்கிகளை நமது வளி மண்டலத்திற்கப்பால் ராக்கெட்டுகளில் தூக்கிச் சென்று ஆராயவும் முயற்சிகள் நடைபெறுகின்றன. இதிலிருந்து 1 செ. மீட்டருக்குக் குறைவான அலை நீளத்தைப் பெற்று ஆராய்ச்சிகளை நடத்தலாம்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. The History of Astronomy — *By G. Abetti.*
2. The Frontiers of Astronomy — *By F. Hoyle.*
3. Radio Astronomy — *By J. L. Pawsey.*
4. The Milky Way — *By B. J. Bok and Bok.*
5. The Exploration of Space — *By R. Hanbury Brown.*

# 4. ரேடியோ வானியலின் தொழிற் நுணுக்கம்

## (The Techniques of Radio Astronomy)

இப் பகுதியை மூன்று பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். முதல் பகுதி பூமிக்கு அப்பால் உள்ள பொருட்களிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளைப் பற்றியும், இரண்டாவது பகுதி ரேடியோ அலைகளை அறிவதற்கான ஏரியல்கள், ஏற்பிகள், பதிவு செய்யும் கருவிகள் ஆகியவற்றைப் பற்றியும், மூன்ருவது பகுதி குறிப்பிட்ட சில விளைவுகளை ஆராய்வதற்காகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட கருவிகளைப் பற்றியும் கூறுகின்றன. ரேடியோ வானியலின் இரண்டாவது பகுதியான ராடார் வானியல் ரேடியோ அலைகளின் பரப்பிகளைப் பற்றியும், ஏற்பிகளைப் பற்றியும் கூறுகின்றது. இதைப்பற்றி மிக விரிவாகப் பின்னர் கூறப்பட்டுள்ளது.

இப் பகுதியில், இத் துறையில் ஏற்பட்டுள்ள எல்லா முக்கிய விளைவுகளைப் பற்றியும், ஓரளவு விளக்கமாகக் கொடுக்க முயற்சிக்கப்பட்டுள்ளது. இந் நூலைப் படிப்பவர்களுக்கு எலக்ட்ரான் இயலைப்பற்றி ஓரளவு தெரிந்திருக்கவேண்டும். இல்லையேல் இப் பகுதியைப் புரிந்துகொள்வது சிறிது கடினமாகும். ராடார் வானியலையோ, ரேடியோ வானியலையோ அறிந்துகொள்வதற்கு கருவிகளைப் பற்றிய நுணுக்கங்கள் அவசியமல்ல. எனவே இந்த நுணுக்கங்களை அறியாதவர்கள்கூட ராடார் வானியனின் முடிவுகளை நன்ருகப் புரிந்துகொள்ள முடியும்.

### கதிர் வீசல் (Radiation)

அண்ட வெளியிலிருந்து வருகின்ற கதிர்வீசலை, அவைகளின் நிறமாலை (spectrum), செறிவு (strength), தள விளைவு (polarization) ஆகியவற்ருல் அறியலாம். ஒரே திசையிலிருந்து வருகின்ற கதிர்வீசலின் நிறமாலை தொடர்ச்சியாக இருக்கலாம். இதிலிருந்து

கதிர்வீசலின் செறிவு, அதிர்வெண்ணுடன் மெதுவாக மாறுகிறது அல்லது மாருமல் இருக்கிறது என்று பொருள்படுகிறது. பெரும் பாலான கதிர்வீசுதல்களில் இத் தன்மையே காணப்படுகின்றது. கதிர்வீசலை ஆராய்வதற்குப் பயன்படும் ஏற்பிகளின் பட்டை அகலங்களை (band widths) நிறமாலையின் பட்டை அகலத்துடன் ஒப்பிடும்பொழுது குறுகலாகவே உள்ளன. ஹைடிரஜன் அணு 1420 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியில் வெளிவிடுகின்ற நிறமாலை வரி இதற்கு ஒரு விலக்காகும். பூமியின் ஓரலகுப் பரப்பில், ஓரலகு அதிர்வெண் (frequency) இடைவெளியில் விழுகின்ற ஆற்றலின் அடிப்படையில் கதிர்வீசலின் வலுவைக் குறிப்பிடலாம். மீட்டர் — கிலோகிராம் — விநாடி அலகில் (M. K. S. unit) — ரேடியோ வானியல் திறன் பாயங்களை (Radio astronomical power flux), பொதுவாக மீட்டர்-கிலோகிராம்-விநாடி அலகில் குறிப்பிடுகிறோம். பாயச் செறிவு (flux density) $S$ ஐ வாட்டுகள்-சதுர மீட்டர் சுற்றுகள்/ருநாடி என்று குறிப்பிடுகிறோம். அலை மூலத்தின் கோண அகலம் (angular extent), ஏரியலின் கற்றை அகலத்தோடு ஒப்பிடும் பொழுது சிறியதாக இருந்தால், இந்தக் காந்தப் பாயத்தைக் கொண்டே அலைகளின் ஆற்றல் செறிவைக் குறிப்பிடலாம். அலைமூலம் வானில் பல பகுதிகளில் இருந்தால் பிறகு ஒவ்வொரு திசைக்கும் செறிவைக் குறிப்பிடவேண்டும். பின் கதிர்வீசும் பொருளின் (radiator) ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பின் பொலிவு (brightness) என்பதை நிர்ணயிக்கவேண்டும். அதாவது ஓரலகுத் திண்மக் கோணத்திற்குரிய (solid angle) காந்தப் பாயம் என்பது தெரியவேண்டும். ஓரிடத்தில் '$\omega$' திண்மக் கோணத்தையுடைய ஒரு மூலம் காந்தப் பாயம் $S$ ஐயும், சீரான பொலிவு $b$ ஐயும் கொண்டிருக்குமானல்,

$$S = b\omega \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்ருகும். இதை வேருெரு முறையிலும், பிளான்ங்கின் விதியின் அடிப்படையில் குறிப்பிடலாம். இந்த பிளான்ங்கின் விதி மின் காந்த ஆற்றலின் அதிர்வெண்களுக்கும், அந்த ஆற்றலை வெளி விடுகின்ற கறுப்புப் பொருள்களின் வெப்பநிலைக்கும் உள்ள தொடர்பினைக் கூறுகிறது. ரேடியோ நிறமாலையில், பிளான்ங்கின் விதியை ஒத்த வேருெரு விதி தரப்படுகிறது. அது ராலே-ஜீன்ஸ் (Raleyh-Jeans) விதியாகும். இது பொலிவு $b$ ஐக் கெல்வின் வெப்ப நிலை $T$, அலை நீளம் $\lambda$ ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் தருகின்றது.

$$b = \frac{2KT}{\lambda^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இங்கு $K$ என்பது போல்ட்ஸ்மென் (Boltzmann) மாறிலியாகும் ($K = 1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ $M.K.S.$ அலகுகள்), பொலிவு $b$ ஐ வேறொரு விதமாகவும் குறிப்பிடலாம். அதாவது $b$ ஐ மூலத்திற்கு எல்லா விதத்திலும் ஒத்த ஒரு கறும் பொருளின் வெப்ப நிலையின் அடிப்படையில் குறிப்பிடலாம். அதாவது கறும் பொருளின் $b$-ன் மதிப்பும் சமன்பாடு (2) ஆல் பெறப்படும் $b$-ன் மதிப்பும் ஒன்ருக இருக்க வேண்டும். வெப்பநிலை $T$ ஐப் பொலிவு வெப்பநிலை $T_b$-ஞல் ஈடு செய்தால்,

$$b = \frac{2KT_b}{\lambda^2} = 2{\cdot}77 \times 10^{-23} \times \frac{T_b}{\lambda^2} \text{ வாட்டுகள்/}$$

மீட்டர்$^2$/சுற்றுகள்/விஞடி/ஸ்டெர்ராட் ... (3)

இதேபோலச் சமன்பாடு ஒன்றிலிருந்து பாயச் செறிவு $S$ ஐயும், பொலிவு வெப்பநிலை $T_b$ மூலம். பார்வையாளரில் தாங்கும் திண்மக் கோணம் ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் குறிப்பிடலாம்.

$$S = 2{\cdot}77 \times 10^{-23} \times \frac{T_b\,\omega}{\lambda^2} \text{வாட்டுகள்/மீட்டர்}^2\text{/சுற்றுகள்/}$$

விஞடி ... (4)

அலையின் செறிவை வெப்பநிலையின் அடிப்படையில் குறிப்பிடும் பொழுது எளிதாகவும், குறிப்பாக வெப்ப மூலங்களைப் பற்றி ஆராயும் பொழுது சுலபமாகவும் இருக்கிறது.

ரேடியோ அலைகளின் மூன்ருவது குணம் அவற்றின் தள விளைவு அல்லது மின் வெக்டரின் (electric vector) திசையாகும். ஒரு நேர் கோட்டில் தள விளைவுள்ள அலையின் மின்மூலம் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலேயே அமைகின்றது. ஏரியல் அணிகள் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் மின் புலத்தையுடைய கதிர் வீசலை மட்டும் பெறும்படி பொதுவாக அமைக்கப்படுவதால் அவைகள் தள விளைவுள்ள (plane polarised) அலையின் முழு ஆற்றலையும் ஏற்கக் கூடும். அலையின் தள விளைவும், ஏரியலின் தள விளைவும் பொருந்திஞல் மட்டுமே இது நடைபெறும். அவைகளின் தள விளைவுத் திசைகள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருந்தால் ஏரியல் அணிகள் சிறிது கூட ஆற்றலைப் பெற மாட்டா.

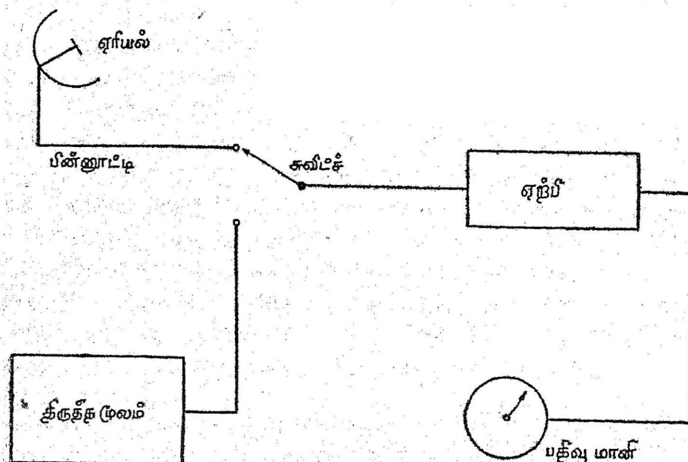
மாருக, கதிர்வீசல் நீள் வட்டத் தள விளைவு பெற்ருே (elliptically polarised) அல்லது வட்டத் தள விளைவு (circularly polarised) பெற்ருே இருக்கலாம். அப்பொழுது அலைமுகப் பின் (wave front) மின் வெக்டர் ஏறத்தாழ நீள் வட்டங்களை வரையும். இப்பொழுது

தளவிளைவு வலஞ் சுழி என அழைக்கப்படும். இப்பொழுது அலை செல்லும் திசையில் பார்வையைப் பதித்து நோக்குகையில் மின் வெக்டர் வலப்புறமாகச் சுற்றுவது போலத் தோன்றும். எதிர்த் திசையில் சுழன்றால் அது இடஞ்சுழி எனப்படும். மின் வெக்டரானது பல்வேறு தளங்களில் மாறுகின்ற நீள் வட்டங்களை வரைந்தால் அப்பொழுது கதிர் வீசல் பல திசைகளிலும் தள விளைவுற்றதாகச் சொல்லப் படுகிறது.

ரேடியோ வானியலில் ஒரு தளத்தில் தள விளைவுற்ற ஆற்றல்களையே பெறும்படி ஏரியல் அமைக்கப்படுகிறது. பல தளங்களிலும் தளவிளைவுற்ற ஆற்றலாக இருந்தால் அதில் பாதியே ஏரியலால் வாங்கப்படும். பூமிக்கு வெளியிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகள் பல தளங்களிலும் தளவிளைவுற்று இருப்பதால் $S$, $b$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிடும் பொழுது நாம் இதைக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். எனவே, மேலே கொடுக்கப் பட்ட சமன்பாடுகள் மொத்தப் பாயத்தையே (Total flux) குறிப்பிடுவதால் அவற்றின் மதிப்புகள் ஒரு தளத்தில் உள்ள பொழுது இருப்பதைவிட இரு மடங்காகும்.

**அடிப்படை அளவுக் கருவி** (The basic measuring equipment)

சூரியனிலிருந்தோ அல்லது அண்ட வெளியிலிருந்தோ வருகின்ற ரேடியோ அலைகளைப் பெறுவதற்கான கருவியின் முழு அமைப்புப் படம் 4·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

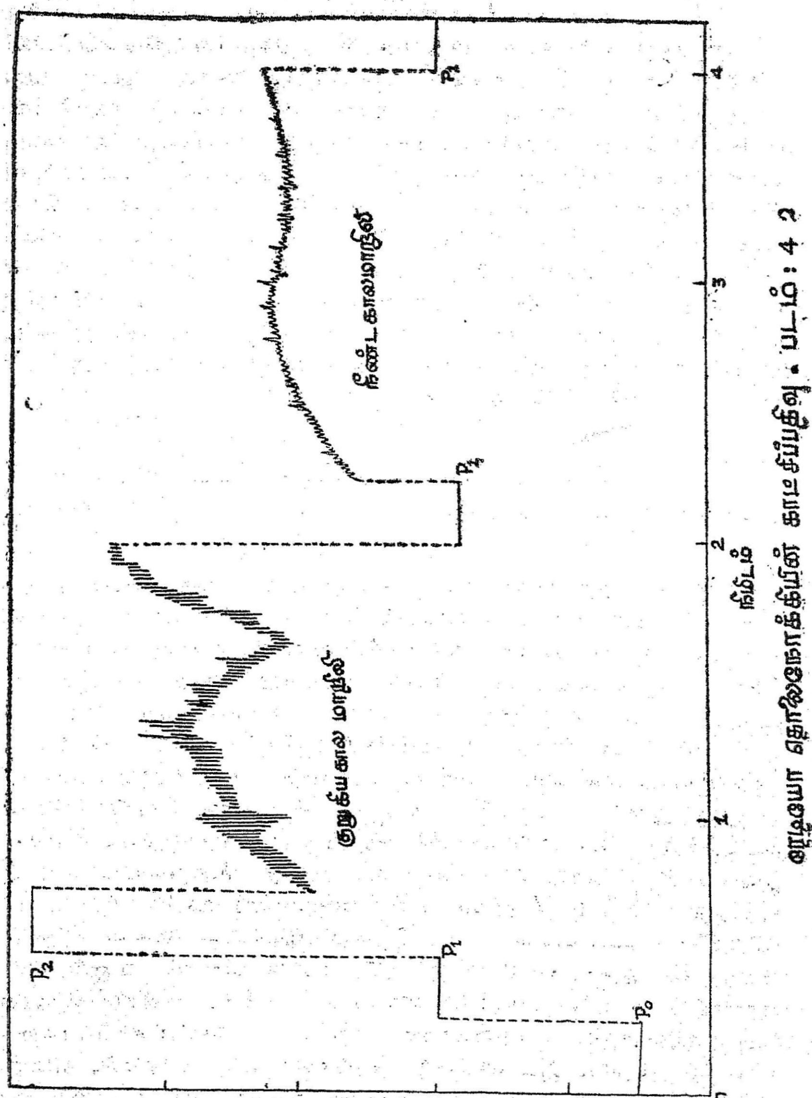



படம் 4·1.

ஆற்றல் ஏரியலால் பெறப்பட்டு தகுந்த ஊட்டுக் கம்பியின் (feeder line) மூலம் ஏற்பிக்குச் செலுத்தப்படுகிறது. இங்கு அது பெருக்கப்பட்டு (amplified), திருத்தப்பட்டு (rectified) ஆற்றலின் வெளி வரும் அளவு (out put) பதிவு செய்யும் கருவிக்குச் (recording device) செலுத்தப் படுகிறது. கூடவே மூன்று வேறு வகையான செய்திகளும் பதிவு செய்யப்பட வேண்டும்; நேர அளவு கோல் (time scale), ஏரியல் பார்த்துக் கொண்டிருந்த திசையின் பதிவு, ஏற்பியின் பெருக்கற் பலனைக் காணுவதற்கான திருத்தக் குறியீடு கள் என்பவையே இவை மூன்றுமாகும். பூமிக்கு அப்பாலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளைப் பதிவு செய்கின்ற முழுக் கருவியும் ரேடியோ மானி (Radio meter) அல்லது ரேடியோ தொலை நோக்கி என்று அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு செ. மீட்டர் அலைநீள ரேடியோத் தொலைநோக்கியால் பதிவு செய்யப்பட்ட வரைபடம் படம் 4·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இடப் புறத்திலுள்ள பெரிய ஏற்றத் தாழ்வுகளும், வலப் புறத்தி லுள்ள சிறிய ஏற்றத்தாழ்வுகளும் இரண்டு வெவ்வேறான ஏற்பிகளின் வெளிவரு ஆற்றல்களைக் குறிப்பிடுகின்றன. இவற்றைத்தவிர, வரை கோடு மேலும், கீழும் தொடர்ந்து நகர்கிறது. இவை வானத்தின் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்து வருகின்ற சைகைகளின் (signals) செறிவில் ஏற்படுகின்ற மாற்றங்களைக் குறிக்கின்றன. குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் ஏற்பியின் உள்ளிடு அளவு (input) ஏரியலி லிருந்து துண்டிக்கப்பட்டு, ஒரு தகுந்த மின் தடையோடு இணைக் கப்படுகிறது. காட்சிப் பதிவில் இதற்குப் பொருத்தமான திருத் தங்கள் $P_1$-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. தகுந்த மின்தடையை சூடு படுத்தும்பொழுது திருத்தக் குறி (calibration mark), $P_2$ என்ற புள்ளிக்கு நகருகிறது. $P_1$, $P_2$-க்கு இடையே உள்ள இடை வெளியை அவைகளின் வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் வகுத்தால், ஏற்பியின் உணர்வு நுட்பம் கிடைக்கும். இந்த ஏற்பியிலிருந்து பெறப்படும் திறனை முழுமையாக அறியலாம். ஊட்டுக் கம்பியில் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பிற்குத் திருத்தங்களைச் செய்தால், மூலத் தின் திறன் பாயத்தைக் கணக்கிடலாம். மின்தடையை இணைப் பதற்குப் பதிலாகச் சில சமயங்களில் ஏற்பியை வேறு ஒரு ஏரியலுடன் இணைக்க நேரிடும். இந்த ஏரியல் வானவெளியில் ஒரு குளிர்ந்த பகுதியை நோக்கி நிலையாக உள்ளது. இந்த முறையில் மின்தடையைப் பயன்படுத்தாமல் வானத்தின் இரு வேறு பகுதிகளின் பொலிவுகளை ஒப்பிடலாம். குளிர்ந்த வானத் தின் மட்டம் $P$-ல் குறிக்கப்படுகிறது.




ஏற்பியின் வெளிவரு அளவு

படம் 4·2.

ஒரு ரேடியோத் தொலைநோக்கி பதிவுசெய்த காட்சி

மின்தடையைப் பயன்படுத்தும்பொழுது வரைபடத்தின் அமைப்பு செ. மீ. அலைநீள ரேடியோ மானிகளுக்கும், மீட்டர் அலைநீள ரேடியோ மானிகளுக்கும் வெவ்வேருக உள்ளது. செ.மீ. அலைநீள ரேடியோ மானியில், ஏரியல் ஊட்டுக் கம்பிக்குப் பதிலாக, ஓர் அலை வழிகாட்டியைப் (wave guide) பயன்படுத்து கிருேம். அலை வழிகாட்டியில் ஒரு நீண்ட ஆப்பு வடிவ (wedge shaped) உட்கவரும் பொருள் உள்ளது. எனவே ஏரியல் முழுவதும் ஒரு மின்தடையைப்போல் தோன்றுகிறது. அலை வழி காட்டி முழுவதையும் ஓர் அடுப்பில் வைத்து, தேவையான வெப்பநிலையில் சூடுபடுத்தவேண்டும். மீட்டர் அலைநீளங்களில் வானத்தின் வெப்பநிலை ஆயிரக்கணக்கான டிகிரிகளை அடை கின்றது. இந்த அளவுக்கு வெப்பநிலையை உடைய கருவிகள் திருத்தங்கள் காண்பதற்கு உகந்தனவாகும். ஓர் அமைப்பில், சூழ்நிலையின் வெப்பநிலையில் ஒன்றும், அதைவிட அதிக வெப்ப நிலையில் ஒன்றும் ஆக இரு மின்தடைகள் உள்ளன. ஏற்பியைக் கவனமாக ஒன்றிலிருந்து மற்ருென்றிற்கு மாற்றி மாற்றி இணைக்க வேண்டும். சூடான மின்தடை டங்ஸ்டன் பிலமென்டினுல் ஆக்கப்பட்டுள்ளது. இதைக் கொண்டு 2000 டிகிரிகள் வரையில் பெறலாம். இன்னும் உயர்ந்த வெப்பநிலைகள் தேவைப்படும் பொழுது, டையோடு இரைச்சல் இயற்றிகள் (Diode noise generators) உபயோகப் படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றைக் கொண்டு பல நூருயிரக் கணக்கான டிகிரி வெப்பநிலையைப் பெறலாம்.

குறுகிய கற்றை ஏரியல்களைப் (narrow beam aerials) பயன் படுத்தும்பொழுது வானியல் பொருட்களைப் பற்றிய ஏராளமான செய்திகள் கிடைக்கின்றன. இவைகளைப் பகுப்பதற்கு ஓர் எலக்ட் ரான் இயல் கம்யூட்டர் (electronic computor) தேவைப்படுகிறது.

**ஏரியல்கள் (Aerials)**

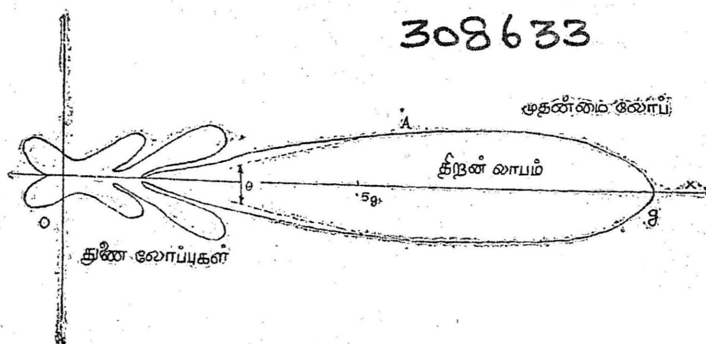
ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலை களைத் தேர்ந்தெடுத்து அவற்றை ஏற்பிக்கு வழங்குவது ஏரியலின் பணியாகும். ஏரியலுக்கு இரண்டு முக்கியமான தகுதிகள் இருக்க வேண்டும். ஒன்று, தேவையான அளவு ஆற்றலைச் சேகரிப்பதற்கு அதன் பரப்பு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இரண்டு, வெகு அருகில் உள்ள இரு பொருட்களிலிருந்து வருகின்ற ஆற்றல்களைப் பிரித்துக் காட்டக்கூடிய பண்பினையும் பெற்றிருக்கவேண்டும். சில சமயங்களில் ஓர் ஏரியல் ஒரு குறிப்பிட்ட தளவிளைவுற்ற ஆற்றலை மட்டும் பெற்றுக்கொண்டு மற்றவைகளை நீக்குகின்ற பண்பினையும் பெற்றிருக்கவேண்டும். ஆராயப்படும் மூலத்தைப் பற்றி முழுமையாகத் தெரிந்து கொள்வதற்கும் அதன் திறனை

முழுமையாக அறிவதற்கும் ஏரியலின் எல்லாக் குணங்களையும் நாம் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும்.

பாயச் செறிவு $S_1$ ஐ உடைய ஒரு தளஅலை ஓர் ஏரியலில் விழும்பொழுது கிடைக்கக்கூடிய திறன்

$$p = AS_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

இங்கு $A$ என்பது ஏரியலின் செயலுறு பரப்பாகும். $S_1$ தள விளைவுத் தளத்தில் பாயமாகும். இது மொத்தப் பாயத்தில் பாதி அளவாகும். பொதுவாக, இங்கு $A$ என்பது அலை. எத்திசையி லிருந்து வருகின்றதோ அத்திசையிலிருந்து நோக்கும்பொழுது உள்ள ஏரியலின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பாகாது. இதைப் படம் 4·3 விளக்குகிறது.




படம் 4·3.

படத்திலிருந்து ஏரியல் கதிர் $OX$ திசையில் பெருமளவுற்று இருப்பதைக் காண்கிறோம். இத் திசைக்குப் பெரும்பாலான நவீன ரேடியோ வானியல் ஏரியல்களுக்கு $A$-ன் மதிப்பு ஏரியல்களின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பாகும். இருந்தபோதிலும் அலைகள் $OX$ ஐத் தவிர வேறு திசையிலிருந்து வரும்பொழுது $A$-ன் மதிப்பு வெகுவாகக் குறைகின்றது. $OX$ திசையிலிருந்து அலைவரும் திசை $7\frac{1}{2}°$ கோணம் இருக்கும்பொழுது $A$-ன் மதிப்பும், அதன் காரணமாக $p$-ன் மதிப்பும் அவற்றின் பெரும் மதிப்புகளில் பாதியாகக் குறைகின்றன. ஆனால் ஏரியலில் குறுக்கிடும் பரப்பு (cosine) காஸ் 7·5 டிகிரி அல்லது 0·99 பெருமதிப்பிற்குக் குறைகின்றது.

ஓர் ஏரியலின் ஆற்றல் சேகரிக்கும் திறனுடன்கூட, அதன் அரைத்திறன் புள்ளி (half power points) களுக்கிடையில் உள்ள கற்றை அகலமும் ஏரியலின் மிக முக்கிய குணமாகும். மேலே

காட்டப்பட்டுள்ள படத்தில் இது '$\theta$' என்ற கோணமாகும். இதன் மதிப்பு ஏறக்குறைய 15° ஆகும். பரவளைய எதிரொளிப்பான் போன்ற வட்ட ஏரியலுக்கு $\theta$'-ன் மதிப்பை ஏரியில் விட்டம், அலைநீளம் ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கீழ்க் கண்டவாறு கொடுக்கலாம்.

$$\theta = \frac{57\lambda}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

கற்றை அகலம் 15°-ம், அலைநீளம் 21 செ. மீட்டர்களும் இருக்கும்பொழுது, எதிரொளிப்பானின் விட்டம் 80 செ. மீட்டர் கள் அல்லது 3 அடிக்குக் குறைவாகும். இவற்றோடு ஒப்பிடும் பொழுது தற்போது பயன்படும் கற்றைகள் மிகக் குறுகியவையாக ஊசி போன்று கூர்மையாக உள்ளன.

ஓர் ஏற்பியின் ஏரியலைவிட ஒரு பரப்பின் ஏரியலைக் கருத்தில் கொண்டு, ஓர் ஏரியலின் இலாபத்தைச் (gain) சிறந்த முறையில் வரையறுக்கலாம். பிறகு அந்த ஏரியலை எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக ஆற்றலைப் பரப்புகின்ற, அனுமானிக்கப்பட்ட திசை ஒப்புப் பண்பியலான கதிர்வீசுவானுடன் (hypothetical isotropic radiator) ஒப்பிடலாம். சோதனை செய்யப்படும் ஏரியலும், திசை ஒப்புப் பண்பியலான ஏரியலும் ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் அனுப்புகின்ற பாயச்செறிவுகளின் ஒப்புமை அளவுகள் அத்திசையில் ஏரியல் இலாபம் 'g'ஐக் கொடுக்கின்றன. ஆற்றல் வருகின்ற முக்கியத் திசையின் அடிப்பகுதியில் ஓர் ஏரியலின் பெரும இலாபம் அளக்கப் படவேண்டும். இதுவே ரேடியோ வானியல் ஏரியறுக்குத் தேவையானதாகும். ஏரியலை ஒரு பரப்பியாகப் பயன்படுத்தி, அதன் வெளிவரு ஆற்றலை, ஓர் எளிய இருமுனை (dipole) ஏரியலிலிருந்து வெளிவரும் ஆற்றலுடன் ஒப்பிட்டுக் கணக்கிட லாம். உண்மையான திசை ஒப்பியல்புப் பண்புகளையுடைய எதிரொளிப்பான்கள் கிடைக்காததால் இருமுனை ஏரியல் பயன் படுத்தப்படுகின்றது.

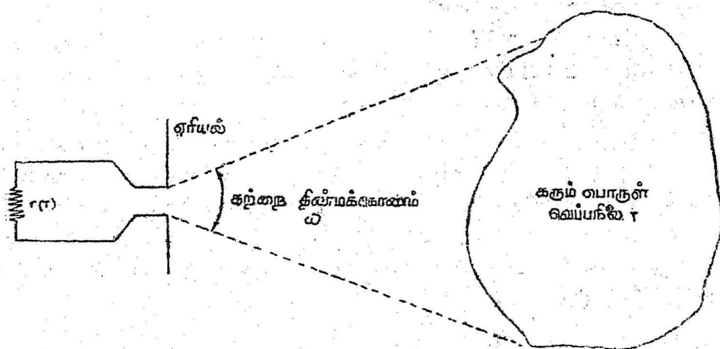
ஓர் ஏரியலினால் சேகரிக்கப்படும் திறன் $p$ ஐ ஓர் இணை மாற்று ஏரியல் வெப்பநிலை ($T_a$) ஆக மாற்றலாம். இது அதே அளவு ஆற்றலை அதே அதிர்வெண் இடைவெளியில் தருகின்ற மின் தடைக்குப் பதிலாக ஒரு செயலற்ற மின் எதிர்ப்பை (passive impedence)யும் பயன்படுத்தலாம். எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு திசை களிலும் வெப்பநிலைக் காரணமாக இயங்கிக் கொண்டிருப்பதால், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை $T$-ல், மின் எதிர்ப்பு $KT \triangle f$ என்ற அளவு ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. இங்கு $\triangle f$ என்பது அதிர்வெண்

பட்டையைக் குறிக்கும். இவ்வாறு இணைமாற்று ஏரியலின் வெப்ப நிலையை $T_a = \frac{p}{K \triangle f}$ ... ... ... ... ... (7)

என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் பெறலாம். இங்கு $K$ என்பது போல்ட்ஸ்மென் மாறிலியாகும். ($K = 138 \times 10^{-23}$ ஜுல்ஸ்/டிகிரி ஆகும்.)

இதே கருத்தைச் சிறிது விளக்கமாக வெப்ப இயக்கவியலின் அடிப்படையில் ஓர் ஏரியலின் செயலுறு பரப்பிற்கும் ($A$), ஏரியலின் இலாபத்திற்கும் ($g$) தொடர்பை ஏற்படுத்தி நிறுவலாம். திண்மக் கோணம் $\omega$-ல் ஒரே சீரான இலாபம் $g$ ஐயும், மற்றப் புள்ளிகளில் சுழி இலாபத்தையும் உடைய ஓர் எளிய ஏரியலைக் கவனிப்போம். இப்பொழுது,

$\omega = \frac{4\pi}{g}$ என்பது பெறப்படுகிறது. படம் 4·4-ல் ஒரு சோதனைத் திட்டப் படத்தின் அடிப்படையில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் $T$ என்ற வெப்பநிலையிலுள்ள '$\gamma$' என்ற மின்தடை ஏரியலுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. இது சமன்பாடு (7)ஆல்




படம் 4.4.

கதிர்வீச்சில் ஓர் ஏரியலும், கரும்பொருளும் ஒன்றோடு ஒன்று சமநிலையில் இருக்கின்றன.

பெறப்படும் எல்லா ஆற்றலையும் ஒரு கரும் பொருளின் மேல் வீசுகிறது. கரும் பொருளால் பெறப்படுகின்ற திறன் $P = KT \triangle f$. செயலுறு பரப்பு $A$ ஐயுடைய ஏரியலால் பெறப்படும் ஆற்றலை, சமன்பாடுகள் 1, 2, 5 ஆகியவற்றிலிருந்து கணக்கிடலாம். இப்பொழுது படுபாயத்தில் (incident flux) அரைப்பகுதி மட்டுமே

ஏரியலால் ஏற்கப்படுகிறது என்பதையும், $\omega = \frac{4\pi}{g}$ என்பதையும் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். ஏற்கப்பட்ட ஆற்றல்

$$P_2 = \frac{4\pi\ KTA\ \triangle f}{g\lambda^2}$$

வெப்ப இயக்கவியலிலிருந்து $P_1 = P_2$ ஆகும். எனவே,

$$A = \frac{g\lambda^2}{4\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

இது எல்லா ஏரியல்களுக்கும், எல்லாத் திசைகளில் வெளியிடப்படுகின்ற ஆற்றல்களுக்கும் பொதுவான குணமாகும். $g$-ன் பெரும மதிப்பிலிருந்து $A$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். பிறகு சமன்பாடு (5) ஐப் பயன்படுத்தி, ஏரியலால் சேகரிக்கப்பட்ட ஆற்றலையும் கணக்கிடலாம்.

ஒரு பரவளைய ஏரியலுக்குச் செயலுறு பரப்பு $A$ என்பது ஏரியலின் உண்மையான பரப்பில் ஏறத்தாழப் பாதியாகும். அலை நீளம் 21 செ. மீட்டராக இருக்கும்பொழுது இந்த ஏரியலின் விட்டம் சுமார் 80 செ. மீட்டர்கள் என்று மேலே கண்டோம். ஏரியலின் பரப்பு 5,150 சதுர சென்டி மீட்டர்களாகும். பிறகு (8)-வது சமன்பாட்டால் பெறப்படுகின்ற ஏரியல் இலாபம் 74 ஆகும்.

ரேடியோ வானியல் நிபுணர்களால் பலவகைப்பட்ட ஏரியல்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இவைகளில் பரவளைய எதிரொளிப்பான் (parabolic reflector) ஒரு சிறிய ஏரியலுடன் பெருமளவில் பயன்படுத்தப் படுகிறது. இதில் பொதுவாக ஒன்று அல்லது இரண்டு அரை அலை இருமுனை (half wave dipole) களும் குவியத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் எதிரொளிப்புத் தட்டும் உள்ளன. அலைநீளம் சிறியதாகவும், ஏரியல் இலாபம் 100-க்கு மேலும் இருக்கும்பொழுது இந்த ஏரியல் சிறந்த பலன்களைத் தருகின்றது. இதிலிருந்து அலைநீளங்களைத் தேவையானபொழுது மாற்றவும் செய்யலாம். கற்றையையும் தேவையானபடி மாற்றலாம். ஏரியலின் அமைப்பும் மிக மிக எளியது; மேலும் விருப்பப்படி மாற்றக் கூடியது.

உலோகத் தகடுகளாலான எதிரொளிப்பான்களைப் பயன்படுத்தி அரை அலைநீள இரு முனைகளைப் பக்கவாட்டில் (broad side on) அமைத்து ஏரியலைத் தயாரிப்பது இரண்டாவதாகப் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றது. இந்த ஏரியல் கற்றை

எதிரொளிப்பதில்லை. ஆனால் நேரடியாக இரு முனைக்குள் உட்கவருகின்றது. இந்த அணியின் அமைப்பு மிகப் பெரியதாக இல்லாமல் இருந்தால் இரு முனைகளையும், எதிரொளிப்பானையும் கற்றையின் திசையில் திருப்பலாம். பெரிய அணிகளில் இரு முனைகள் தரைக்கு மேலே கிடைமட்டமாகப் பொருத்தப்பட்டு ஒரு நிலையாக வைக்கப்படுகின்றன. கற்றையானது இருமுனைகளுக்கிடையில் செலுத்தப்படுகிறது. பக்கவாட்டு அணியில் செயலுறு பரப்பானது ஏரியலின் உண்மையான பரப்பிற்கு ஏறத்தாழச் சமமாகும். எனவே இந்த அமைப்பு பரவலைய அமைப்பைவிட நன்ருகத் தொழிற்படுகின்றது. நீண்ட அலை நீளங்களில், காட்டாக 3 மீட்டர், அதற்கு மேலும், பக்கவாட்டு அணி அதிகப் பரப்பையும், அதிக இலாபத்தையும் கொண்டிருக்கும். இதற்கு அதிக ஏரியல் கம்பிகள் தேவையில்லை. ஆனால் இத்தகைய ஏரியலில் அலை நீளத்தை ஒரு சிறு அளவுதான் மாற்றமுடியும். மேலும் இவை துருவக்கூடிய பகுதியும் குறைவாகும். நடைமுறையில் பல்வேறு வகைப்பட்ட அமைப்புகளும் உள்ளன. இவைகளில் பல இருமுனைகளுக்குப் பதிலாக யாகி (yagi) ஏரியல்களும், சுருள் வில் (helix) அமைப்புகளும் உள்ளன. மீட்டர் அலைநீளங்களில், சூரியனின் ஆற்றலை அளப்பதற்கு யாகியே போதுமானது. இது மிகவும் லேசானது; எளியது. ரேடியோ வானியலை ஆராயத் தொடங்கியிருப்பவர்களுக்கு இதுவே சிறந்தது. சாய்சதுர ஏரியல்களும் (rhombic aerials), மின்காந்தத் குழல் ஏரியல்களும் (electromagnetic horn) சில சமயங்களில் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இவை சில குறிப்பிட்ட ஆராய்ச்சிகளுக்குப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

### ஏற்பிகள் (Receivers)

ஓர் ஏரியலினால் வெளியிடப்படும் ஆற்றல் மிகக் குறைவாக இருந்தாலும் அதை அதிக அளவு பெருக்கிக் கொடுப்பதே ஓர் ஏற்பியின் முக்கியப் பணியாகும். இவ்வாறு பெருக்கப்பட்ட ஆற்றல் ஒரு மில்லி அம்மீட்டரிலோ (milli ammeter) அல்லது அதற்கொத்த கருவியிலோ பதிவு செய்யக் கூடிய அளவாக இருக்க வேண்டும். நவீன எலக்ட்ரான் இயல் கருவிகளைக் கொண்டு தேவையான அளவு ஆற்றலைப் பெருக்குவதில் சிறிதுகூடக் கடினமே கிடையாது, ஆனால் ஏற்பிகளில் தோற்றுவிக்கப் படும் உள் இரைச்சல் (internal noise) தேவையான சைகையுடன் சேர்ந்து பெருக்கப்படுவது உண்மையான இடையூருக இருக்கின்றது.

தொலைவில் உள்ள சில விண்மீன் கூட்டங்கள் பூமியில் சுமார் ஐந்து அலகு ரேடியோப் பாயத்திறனை (radio power flux) பூமியில் ஏற்படுத்துகின்றன. இங்கு ஓர் அலகு என்பது $10^{-26}$ வாட்டுகள்/மீட்டர்$^2$/சுற்றுகள் விநாடி ஆகும். ஓர் ஏரியலின் செயலுறு பரப்பு 270 ச. மீட்டர் எனக் கொண்டால், சேகரிக்கப் படும் ஆற்றல் $3 \times 10^{-24}$ வாட்டு/சுற்று/விநாடி ஆகும். இது சுமார் 85 அடி பரவளைய ஏரியலில் சேகரிக்கும் ஆற்றலுக்குச் சமம். இந்த ஆற்றல் சுமார் 0·2 டிகிரி $K$ வெப்ப நிலையில் இருக்கும்; ஒரு மின் எதிர்ப்பு (impedence) வெளி வெடும் ஆற்ற லுக்குச் சமம். இயல்பான அறை வெப்ப நிலையில் (சுமார் 300° $K$) உள்ள ஒரு மின் எதிர்ப்பு 1500 மடங்கு அதிக இரைச்சல் திறனைத் தோற்றுவிக்கும். அதாவது தோற்றுவிக்கப்படும் இரைச் சலைக் குறைக்க ஏற்பியைச் சுற்றிலிருந்து துண்டித்து விட்டால். அதன் உள்ளிடு (input) சுற்று. ஏரியலிலிருந்து வரும் தேவையான ஆற்றலைப் போல் 1500 மடங்கு அதிக இரைச்சல் திறனைத் தோற்றுவிக்கும். இப்பொழுது ஏற்பியை மின் சுற்றில் இணைத்து வேலை செய்யாவிட்டால், மேலும் அதிக இரைச்சல் அதன் எலக்ட் ரான் இயல் கூறுகளிலிருந்து தோற்றுவிக்கப்படும். எனவே மொத்த இரைச்சல் திறன் $N$ என்ற அளவுக்கு அதிகரிக்கப்படுகிறது. இந்த $N$-க்கு ஏற்பியின் இரைச்சல் கூற்றெண் (noise power factor) என்பது பெயர். 1959 ஆம் ஆண்டுக்கு முன் உபயோகிக்கப்பட்ட சாதாரண ஏற்பிகளின் இரைச்சல் கூற்றெண் ($N$), 10 ஆக இருந்தது. இத்தகைய ஏற்பியின் இரைச்சல் வெப்பநிலை 3000° $K$ ஆக இருந்தது.

$N$-ன் மதிப்பு ஓர் ஏற்பியின் உள்ளிடு நிலை (stage) களைப் பொறுத்திருப்பதால், இந் நிலைகள் ஓர் ஏற்பியில் குறிப்பிடத் தக்க முக்கிய பாகங்களாகும். எனவே இவைகளில் பெரும்பான்மைக் கவனத்தைச் செலுத்தி உள்ளனர். மேசர் (Maser), இரைச்சல் பெருக்கிகள் அல்லது சாராமாறிப் பெருக்கிகள் (parametric amplifiers) ஆகியவை கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு முன்பு, முதல் நிலையில் (first stage) 50 செ.மீட்டர் அலை நீளம் வரையில் வழக்க மான சைகை அதிர்வெண் மின் குழாய்ப் பெருக்கிகளையே (valve amplifiers) உபயோகித்து வந்தனர். இன்னும் குறைந்த அலை நீளங்களில் இந்தக் கருவிகள் சரியாக இயங்கவில்லை; சைகை அதிர்வெண் பெருக்கமும் உபயோகப் படுத்தப்படவில்லை. ஆகவே ஒரு கலக்கிப் பிரித்தல் ஏற்பியில் (super hetero dyne receiver) படிக டையோடு (crystal diode) அதிர்வெண் மாற்றியால் சைகை வேறு படுத்தப்பட்டது. ஒரு மீட்டர் அலை நீளத்தில் 500° $K$-ம், 3 செ. மீட்டர் அலை நீளத்தில் 2000° $K$-னும் மிகச்சிறந்த ஏற்பி இரைச்சல்

வெப்ப நிலைகளாக அமைந்தன. 2000° K வெப்பநிலையில் உள்ள இரைச்சல் சூழ்நிலையில் 0·2° K வெப்பநிலை இரைச்சலை அளக்கக் கூடும் என்பது நம்ப முடியாததாக இருக்கிறது. ஆனால் அது ஒரு தொகுனி ஆக்கம் (integration) முறையில் செய்யப்படுகிறது. அதை இங்கு விவரிப்பது தேவையில்லை.

மாறுதிசை மின்னோட்ட மூலங்களில் இயங்குகின்ற ஏற்பிகளில் வெளிவரு ஆற்றலில் ஏற்றத்தாழ்வு நிகழ்வது ஒரு பெரிய இடையூறாகும். குறை மின்னழுத்த மின் அடுக்கிலும், உயர் மின்னழுத்த மின் அடுக்குகளில் மின்னழுத்த நிலைநிறுத்தி (voltage stabilizers) களைப் பயன்படுத்தியும் இவைகளைக் குறைக்கலாம். சுற்றின் பல்வேறு பகுதிகளில் மின்னோட்டத்தின் காரணமாக வெப்பநிலை மாறுவதால் ஏற்படுகின்ற இடையூறுகளையும் வெப்பநிலைக் காப்பான் (thermostat) களைப் பயன்படுத்திக் குறைக்கலாம். இம் முறை அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் பரவலாகப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. பட்டை அகலத்தை ($\triangle f$) அதிகப்படுத்துவதாலும் ஏற்பியின் உணர்வு நுட்பம் குறைகிறது. குறிப்பாகச் சில சமயங்களில் பெறப்படுகின்ற சைகையின் அகலமும் குறுகலாக இருக்கிறது. அநேக சூரிய வெடிப்புகளில் (solar burst) ஆற்றல் ஒரு சில மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அளவில் இருக்கிறது. ஹைடிரஜன் வெளியிடு வரியில் ஆற்றல் ஒருசில 10,000 கிலோ சுற்றுகள்/விநாடி அளவே இருக்கிறது. மேலும் ஏற்பிகளைத் தயாரிக்கின்ற முறையும் சில உச்சவரம்புகள் நிர்ணயிருக்கிறது. 10 அல்லது 20 மெகா சுற்று/விநாடி அளவில் அண்மையில் ஏற்பிகள் இயங்கு அலைகுழாய் (travelling wave tubes) களைப் பயன்படுத்தித் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை 4 செ. மீட்டர் அலைநீளங்கள் வரையில் பெருக்கிகளாகத் திறம்பட இயங்குகின்றன. இவைகளின் பட்டை அகலங்கள் மிக அதிகமாகவும், மொத்தப் பட்டை நீளம் 1000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியாகவும் உள்ளன. இவைகளைக் கொண்டு நேர மாறிலி 300 விநாடியாக இருக்கும்பொழுது இவைகளின் உணர்வு 0·01°K வரைச் செல்கிறது.

மிக அண்மையில் இரண்டு புத்தம் புதிய ஏற்பிகள் தயாரிக்கப் பட்டுள்ளன. அவை மேசர் (Microwave amplification by the stimulated emission of radiation) இரைச்சல் பெருக்கிகள் அல்லது மேவார் (Mixed amplification by variable reactance) என்பன வாகும். இதுவரை ஏற்பிகளுக்குத் திறன் ஒரு நேர்த்திசை மின்னோட்ட மூலத்திலிருந்து மட்டுமே கொடுக்கப்பட்டு வந்தது. புதிய ஏற்பிகளில் ஆற்றல் ரேடியோ அதிர்வெண் மூலத்திலிருந்து கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த ரேடியோ அதிர்வெண் மூலத்தின்

அதிர்வெண் சைகையின் அதிர்வெண்ணைவிடப் பொதுவாக அதிகமாக இருக்கும். இந்த ரேடியோ அதிர்வெண் மூலம் பொதுவாகப் பம்பு (Pump) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்தப் புதிய பெருக்கிகள் இதுவரை பெருக்கிகளில் பயன்படுத்தப்படாத தனித்துவம் வாய்ந்த இயற்பியல் கோட்பாடுகளின் அடிப்படையில் இயங்குகின்றன,

மேசர் என்பது தனித்தனியான அணுக்கள் செயல்படும் தன்மையைப் பொறுத்துள்ளது. எனவே இதைக் குவாண்டம் கொள்கையின் (quantum theory) அடிப்படையில்தான் விளக்க வேண்டும். சுருக்கமாக, ஆற்றல் பெருக்கத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு விவரிக்கலாம். ஓர் அணுவின் ஆற்றல் பல்வேறு தனித்தனியான மட்டங்களின் வரம்பிற்கு உட்பட்டுள்ளது. இந்த ஆற்றல் மட்டங்களை $E_1$, $E_2$, *etc* எனக் குறிப்பிடலாம். ஒரு மட்டம் மாறும் பொழுது, ஒரு ஃபோட்டான் (photon) அல்லது ஒரு கதிர்வீச்சுக்கு குவாண்டம் (quantum of radiation) உட் கவரப்படுகிறது. அல்லது வெளிவிடப் படுகிறது. இந்தக் குவாண்டங்கள் $(E_2 - E_1)$ பொருட்கள் மீது விழும் பொழுது $E_1$ மட்டத்தில் உள்ள அணுக்களால் உட்கவரப்பட்டு, அவை $E_2$ மட்டத்திற்கு உயருகின்றன. மாறாக, கதிர்வீச்சு $E_2$ மட்டத்திலுள்ள அணுக்களின் மீது விழும் பொழுது அவை ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. இந்த வெளியிடப் படுகின்ற ஆற்றல், மூல ஆற்றலுடன் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கிறது. எனவே மூல ஆற்றலின் (orginal radiation) செறிவு அதிகரிக்கிறது. இதற்குத் தூண்டி எழுப்பப்பட்ட கதிர்வீச்சு (stimulated emission) என்பது பெயர். சமநிலையில் அணுக்களின் குறைந்த ஆற்றல் மட்டங்களின் எண்ணிக்கை அணுக்களின் உயர் ஆற்றல் மட்டங்களின் எண்ணிக்கையை விட அதிகம். எனவே பொருட்களின் மீது விழுகின்ற கதிர்வீச்சு முடிவாக உட்கவரப்படுகிறது. மேசரில் இந்த நிலை பம்பு சைகையால் எதிராக்கப் படுகிறது. எனவே கதிர்வீச்சாற்றல் குவாண்டம் $E_2 - E_1$, சைகையாற்றல் $E_2 - E_1$ ஐ விட அதிகமாக இருக்கிறது. இது வழக்கமான முறையில் உட்கவரப்பட்டு அணுக்களை $E_2$ மட்டத்திலிருந்து $E_3$ மட்டத்திற்கு உயர்த்துகிறது. சில அணுக்கள் தாங்களாகவே $E_3 - E_2$ ஆற்றலை வெளியிட்டு $E_2$ மட்டத்தை அடைகின்றன. இங்குச் சைகை ஆற்றலை அதிகரித்து அதன் விளைவாகப் பெருக்கத்தை அதிகரிக்கின்றன.

மேசர் தயாரிப்பதற்குத் தகுந்த பொருள் கெம்பு (ruby) ஆகும். கெம்புப் படிகத்தை 2000 காஸ் (Gauss) உள்ள தகுந்த நிலையான காந்தப் புலத்தில் வைக்கும்பொழுது அது தேவையான தகுந்த ஆற்றல் மட்டங்களைக் கொடுக்கிறது. எனவே 21 செ-

மீட்டர் அலைநீளங்களுக்கு அது ஒரு சைகைப் பெருக்கியாகிறது. $60°K$-ன் இரைச்சல் வெப்பநிலைகளுடன் $10°K$-ன் இரைச்சல் வெப்பநிலைகளுடன் மேசர்கள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. முன்னது குழி மேசர்கள் (cavity masers) என்றும், பின்னது இயங்கு அலை மேசர்கள் (travelling wave masers) என்றும் அழைக்கப்படு கின்றன. தொகு ஆக்கக் கூற்றெண்ணைக் கொண்டு திருத்தங்கள் கொடுத்த பிறகு உணர்வு நுட்பம் $0·03° K$-க்கும், $0·001° K$-க்கும் பெறப்பட்டுள்ளது. ஆனால் மேசர்களைப் பயன்படுத்தும் பொழுது அவற்றைத் திரவ ஹீலியத்தில் (liquid helium) வைத்தே பயன்படுத்தவேண்டும். அப்பொழுதுதான் அவற்றின் வெப்பநிலை $3°K$ஐ அடையும். எனவே பெருக்கி உருவத்தில் பெரியதாகவும் இயக்குதற்குச் சிக்கலாகவும் அமைகிறது.

இரைச்சல் பெருக்கிகள் இயங்குகின்ற விதத்தை ஊஞ்சலில் ஆடிக் கொண்டிருக்கின்ற ஒரு மனிதனின் இயக்கத்தோடு ஒப்பிட்டு விளக்கலாம். அம்மனிதன் தன்னுடைய புவி ஈர்ப்புத் தானத்தை உயர்த்தியும், தாழ்த்தியும் தனது இயக்கத்தின் மிகத் தாழ்ந்த புள்ளியை ஒவ்வொரு தடவை கடக்கும்பொழுதும் தன் இருப்பிடத்திலிருந்து எழுகின்றான். இது அவனது கிடைமட்டத்திசை வேகத்தைப் பாதிப்பதில்லை. ஆகவே அவனது புவி ஈர்ப்பு மையம் முந்தைய அளவைவிட மேலும் உயருகிறது. இயக்கத்தின் முடிவில் அவன் ஓய்வில் இருக்கும்பொழுது அவன் தனது இருப்பிடத்தில் தனது உடலைத் தாழ்த்திக் கொள்கிறான். எனவே அடுத்த பாதி சுற்றில் அவனது வீச்சு அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறாக இயக்கத்தைப்போல் இருமடங்கு அதிர்வெண்ணில் அவன் ஆற்றலைச் செலவிடுகிறான்.

இரைச்சல் பெருக்கிகளில் இயக்கத்திற்குப் பதிலாக ஒரு மின் தேக்கி (capacitance), ஒரு மின் நிலைமம் (inductance) ஆகியவை யுடைய ஓர் ஒத்திசைவு மின்சுற்றைப் (Regonant electrical circuit) பயன்படுத்துகின்றோம். இவைகளை ஒன்றிற்கொன்று இணையாக இணைக்கும்பொழுது இவை சைகை அதிர்வெண் $(LC)^{-\frac{1}{2}}$ னுடன் ஒத்திசைக்கின்றன. மின்தேக்கி, மின் நிலை மத்திலிருந்து மாறிமாறி மின்னூட்டம் பெற்றும், மின்னிறக்கம் அடைந்தும் தொழிற்படுகின்றது. மின்தேக்கியில் உள்ள மின் அழுத்தம் மேற்கண்ட உதாரணத்தில் ஆடுபவனின் திசை வேகத் திற்கு ஒப்பாகும். மின் தேக்கியானது ஆடுபவனின் இருப்பிடத் திற்கு மேல், அவனது புவி ஈர்ப்புத் தானத்தின் உயரத்திற்கு ஒப்பாகும்.

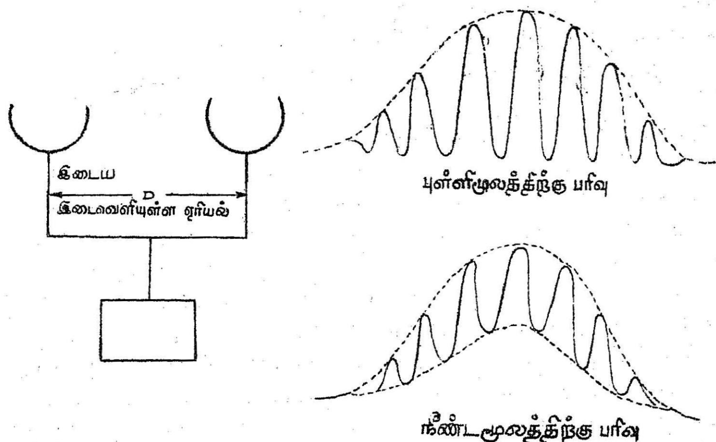
எடுத்துக்காட்டாக, மின்னழுத்தம் பெருமமாக இருக்கும் பொழுது மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறன் திடீரென குறைக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம். மின்தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையி லுள்ள தூரத்தை அதிகரிப்பதன் மூலம் இதைச் செய்யலாம். அதாவது தகடுகளிலுள்ள மின்னூட்டங்களைப் பிரிப்பதற்கு மின் தேக்கியின்மேல் வேலை செய்ய வேண்டும். இப்படிச் செய்யப்படும் வேலை அந்த அமைப்பின் மின்ஆற்றலை அதிகரிக்கிறது. நடை முறையில் மின்தேக்கு திறனை எலக்ட்ரான் இயல் முறையில் குறைக்கிறோம். இருந்தபோதிலும் அந்த அமைப்பின் ஆற்றல் கூடுகிறது. மின்தேக்கி மின்னிறக்கம் அடையும்பொழுது அதன் தகடுகளுக்கு இடையே உள்ள மின்னழுத்தம் நீக்கப்பட்டு அதன் தேக்கு திறன் பழைய மதிப்பை அடைகிறது. இதைச் செய்வ தற்கு எந்த வேலையும் செய்ய வேண்டியதில்லை. எனவே ஆற்றல் செல்லவோ, அதிலிருந்து ஆற்றல் வெளியேறவோ இல்லை. இவ்வாறு மின்தேக்கு திறனைக் குறைத்தும், பழைய நிலைக்குக் கொண்டு வந்தும் சைகை ஆற்றலை அதிகரிக்கிறோம். இதைத் தொடர்ந்து செய்து ஆற்றலை அதிகரித்துக் கொண்டே சென்றால் ஆற்றல் பெருக்கம் சைகை முறையில் அதிகரிக்கப்படுகிறது என்று கூறுகிறோம். $260°K$-க்கும், $70°K$-க்கும் இடையில் இரைச்சல் பெருக்கிகள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. இவைகளின் மொத்த உணர்வு நுட்பம் $0.4°K$-லிருந்து $0.03°K$ வரை மாறுபடுகிறது. இவை இயங்கு அலை மேசர்களைப்போல் அவ்வளவு திறமை வாய்ந்தவை அல்ல; ஆனால் எளிதானவை.

### அண்மைக்கால முன்னேற்றங்கள் (Recent Advances)

அடிப்படையான ரேடியோ. தொலைநோக்கியிலிருந்து முதல் மாற்றம், வெவ்வேறு தொலைவில் இரண்டு ஏரியல்களை வைத்து உருவாக்கப்பட்ட குறுக்கீட்டு விளைவு மானியாகும். ஒரு மீட்டர் அலை நீளத்தில் இயங்குவதும், 100 அடி விட்டத்தை உடையது மான ஒரு ரேடியோ ஏரியல் கற்றை அரை அகலம் 2 டிகிரியைப் பெற்றிருக்கும். இதைக்கொண்டு 0·1 டிகிரி உடைய ரேடியோ விண்மீனின் விட்டத்தை அளக்க முடியாது. 2000 அடி விட்ட முடைய ஏரியலால்கூட இந்த விண்மீனைப் பகுத்துக்காண முடியாது. ஆனால் படம் 2·5-ல் திட்டப் படமுறையில் காட்டப் பட்ட குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைக் கொண்டு இந்த விண்மீனைப் பகுக்கலாம். இந்தக் குறுக்கீட்டு விளைவு மானியில் இரு ஏரியல் களுக்கு இடையில் உள்ள தூரம் $D$ எனக் கொள்க. இரு ஏரியல் களையும் சேர்க்கின்ற நேர்கோட்டிற்குச் செங்குத்துத் திசையில் வருகின்ற கதிர்வீச்சு இரு ஏரியல்களிலும் ஒரே கட்டத்தில் (in phase) மோதுவதால் அவைகளின் தொகுபயன் சைகை

பெருமமாகிறது. $\theta$ டிகிரி கோணத்தில் மோதுகின்ற சைகைகள் எதிர்கட்டத்தில் (out of phase) அமைவதால்,

$$\theta = \frac{29n\lambda}{D}$$




படம் 4.5.

ஆகும்பொழுது சைகை சுழியாகிறது. இங்கு $n = 1, 3, 5$ etc. எனவே ஒரு புள்ளி மூலத்திலிருந்து வருகின்ற சைகைகள் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி தொடர்ச்சியான பெருமங்களையும், சிறுமங்களையும் அடைகிறது. ஒரு மீட்டர் அலைகளுக்குப் பெருமங்கள் (maxima) $\theta = \frac{57\lambda}{D}$ என்ற கோணத்தால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஆயிரம் மீட்டர்களுக்கு. இடைவெளி 0·03 டிகிரி ஆகிறது. இத்தகைய குறுக்கீட்டு விளைவு மானிகளைக்கொண்டு 0·03 டிகிரி அளவுள்ள மூலத்தை நோக்கும்பொழுது அது சிறியதாகக் காணப்படுகிறது. காரணம் மூலத்தின் ஒரு பகுதி பெருமத்திலும், மீதி சுழிப் பகுதியிலும் அமைகின்றன. அப்பொழுது சுழிப் பகுதியில் அமைபவை பதிவு செய்யப்படுவதில்லை. பெருமத்தில் அமைபவை குறைகின்றன. இரண்டு ஏரியல்களையும் அருகருகே கொண்டு வந்தால் விளைவு படம் 4·5-ல் கீழே உள்ள வரைபடத்திலிருந்து மேலே உள்ள வரைபடத்திற்கு மாறுகிறது. ஒரு சில நூறு மீட்டர்கள் இடைவெளியில் உள்ள சிறு ஏரியல்களைக் கொண்ட குறுக்கீட்டு விளைவு மானிகள் 0·1 டிகிரியில் உள்ள பொருட்களைக் கூடத் துல்லியமாகக் காட்டும். கேம்பிரிட்ஜில்

குறுக்கீட்டு விளைவு மானியில் ஏரியல்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை மாற்றக்கூடிய அமைப்பைக் கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. இத்தகைய ஏரியல்கள் ஓவன்ஸ் (Owens) பள்ளத்தாக்குகளில் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. வெகு தூரத்தில் உள்ள ரேடியோ மூலங்களின் பருமனை அளப்பதற்கு இரண்டு ஏரியல்களையும் அநேக அலைநீளங்களால் பிரித்துவைக்க வேண்டும். இத்தகைய ரேடியோ அலைமூலங்களைப் பற்றி அறிவதே அண்டவெளி ஆராய்ச்சியில் முக்கியத் தன்மை வாய்ந்ததாகும். இத்தகைய மூலங்கள் ஒரு சில வினாடிகளிலிருந்து ஒரு நிமிடம் வரை கோணப் பருமனைப் பெற்றுள்ளன. இவைகளைப்பற்றி அறிய 3000 அலைநீள இடைவெளி தேவைப்படுகிறது.

சிட்னி நாட்டில் W. N கிறிஸ்டியான்ஸன் என்பவர் ஒரு புது விதக் குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைத் தயாரித்தார். இதில் ஒரே ஏற்பியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள பல்வேறு ஏரியல்கள் ஒரே வரிசையில் வைக்கப்பட்டிருந்தனர். அவர் 32 பரவளைய எதிரொளிப்பான்களைச் சுமார் 1000 அலை நீளத்திற்கொப்பான ஒரு நேர் கோட்டில் வைத்தார். 21 செ. மீட்டரில் தொழிற்படும் பொழுது இதன் நீளம் 210 மீட்டர்களாகும். ஒளியியலில் உபயோகப்படுத்தப்படும் கீற்றணி (grating) இதற்கொப்பான தாகும். கீற்றணியில் வெள்ளொளி விழும் பொழுது ஒரு நிறமாலை அணித் தோன்றுகிறது. சிவப்பிலிருந்து ஊதா வரை பல்வேறு நிறங்கள் தனித்தனியாகப் பிரிக்கப்பட்டுத் தெரிகின்றன. இவை பிறகு இரண்டாவது, மூன்ருவது நிறமாலைகளிலும் தெரிகின்றன. ஒரே ஒரு வண்ணமுள்ள ஒளியைப் பயன்படுத்தினுல் அது அநேக ஒளி வரிகளையும் (bright band) இருள் வரிகளையும் (dark band) கொடுக்கிறது. இதைப் போலவே பல்வேறு கூறுகளையுடைய குறுக்கீட்டு விளைவு மானியின் ஏரியல் படமும் (aerial diagram) பெறப்படுகின்றது. அதாவது நீண்ட குறுகிய அகலப் பட்டைகளும் (மூன்று நிமிட அகலம்) இவைகளுக்கிடையில் சுழிநிலைப் பட்டை களும் கிடைக்கின்றன. இதைப் பயன்படுத்தி சூரியன் பகுக்கப் பட்டது. பூமி சுழலும் பொழுது, சூரியன் ஒவ்வொரு பெருமத்தின் வழியே செல்லுகையில் அதனுடைய பதிவில் வடக்குத் தெற்காக சிறிய வரிகளும் தோன்றின. இத்தகைய கீற்றணி வகைக் குறுக் கீட்டு விளைவு மானிகள் பிரான்சு, கனடா, ஜப்பான் ஆகிய நாடு களில் கட்டப்பட்டுள்ளன.

சூரிய வெடிப்புக் காரணமாக வருகின்ற ரேடியோ அலைகளை ஒரு ரேடியோ மீட்டரால் அறியலாம். இந்த ரேடியோ மீட்டர்கள் அதிக அளவு அதிர்வெண்களில் இயங்கக் கூடியவை. இத்தகைய

சூரிய ரேடியோ நிறமாலை வரைவிகள் (spectro graph) ஆஸ்திரேலியாவிலும், அமெரிக்காவிலும் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. சில நிறமாலைத் தன்மைகள் அதி விரைவாக மாறுவதால் ஆஸ்திரேலியாவிலுள்ள நிறமாலை வரைவி அரை வினாடி இடைவெளியில் நிறமாலை முழுவதுமாகவே வரையக் கூடிய தன்மையைப் பெற்றுள்ளது. சாய் சதுர ஏரியல்கள் இவற்றில் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவைகள் சூரியனின் பாதையை நோக்கியே திரும்பக் கூடியவாறு அமைந்தன. இந்த ஏரியல்கள் மூலம் பதிவான காட்சிகளிலிருந்து சூரியனைப் பற்றிய பல உண்மைகள் அறியப்பட்டன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Frontiers of Astronomy — *Hoyle.*
2. Radio Astronomy — *Graham.*

# 5. ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தியும், பரப்புதலும்

**(Generation and propagation of radio waves)**

இந்த அத்தியாயத்தில் சுருக்கமாக, ஆனால் முழுமையாக பூமிக்கு அப்பாலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகள் எவ்வாறு உற்பத்தியாகின்றன; எவ்வாறு பரவுகின்றன என்பனவற்றைப் பார்ப்போம். இவைகளைப்பற்றி இங்கு கூறியிருப்பவை எளிய வையாக இருந்தாலும், மின்காந்த அலைகளைப்பற்றி அறியாத வர்களுக்குச் சில பகுதிகள் கடினமாகத் தோன்றலாம். ஆனால் அவை இந்த அத்தியாயத்தைப் புரிந்து கொள்வதை எவ்விதத் திலும் பாதிக்காது.

பூமிக்கு அப்பால் இருந்து வருகின்ற பெரும்பான்மையான ரேடியோ அலைகள் வெகுவாக அடர்வு குறைந்த அயனியாக்கப் பட்ட வாயுக்களிலிருந்து உற்பத்தியாகின்றன. குளிர்ந்த மின் னூட்டமற்ற, ஹைடிரஜன் வாயு வெளியிடுகின்ற 21 செ. மீட்டர் வரிக்கதிர் வீசல் இதற்கொரு விதிவிலக்காகும். இந்த 21 செ. மீட்டர் வரிக்கதிர் வீசல் மற்ற ரேடியோ அலைகளைப் போலவே பரவுகின்றது. எனவே இதைப்பற்றித் தனியாகக் கூறத் தேவை யில்லை. சூரியன் அல்லது பூமியின் துணைக் கோள்களிலிருந்து வரும் கதிர் வீசலும் இதற்கொரு விதி விலக்காகும். இப்போதைக்கு அயனியாக்கப்பட்டுள்ள வாயுக்களிலிருந்து வருகின்ற கதிர்வீசலை மட்டும் நாம் கவனிப்போம்.

பிரபஞ்சத்திலுள்ள பெரும்பாலான பொருட்கள் ஹைடிரஜனால் ஆனவை. சூரியனின் ஒளி வட்டத்திலும், அண்ட வெளியிலும் இது அதிவெப்பநிலையில் உள்ளது. அந்நிலையில் இது சம எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களாகவும், எலக்ட்ரான்களாகவும் பிரிகின்றது. இவைகளையே அயனிகள் என்று அழைக்கிறோம்.

இத்தகைய ஓர் அயனியை முடுக்கினலோ, அல்லது அதன் வேகத்தைக் குறைத்தாலோ அல்லது அதன் திசையைத் திருப்பினலோ அது மின்காந்த அலைகளை வெளியிடுகின்றது. எலக்ட்ரான்கள் புரோட்டான்களின் நிறையில் 1836-ல் ஒரு பங்கே இருப்பதால் அவைகளைப் புரோட்டான்களைவிடச் சுலபமாக முடுக்கலாம். எனவே எலக்ட்ரான்கள் புரோட்டான்களைவிடச் சிறந்த முறையில் கதிர்வீசல்களை வெளியிடுகின்றன. இவ்வாறு எல்லாக் காஸ்மிக் கதிர் இரைச்சல்களும் எலக்ட்ரான் இயக்கங்கள் மாறுவதனுலேயே நடைபெறுகின்றன.

ரேடியோ வானியலில் ஒரு குவாண்டம் ஆற்றலை உற்பத்தி செய்வதுடனே அல்லது புதிய தனிமத்தை உருவாக்குவதுடனே எலக்ட்ரானின் பணி நின்றுவிடுவதில்லை. கதிர்வீசல் அதனுடைய மூலத்திலிருந்து பூமியை நோக்கிச் செல்ல வேண்டும். அப்பொழுது அதன் பரவல் அதன் பாதையில் உள்ள எலக்ட்ரான்களினல் பாதிக்கப்படக் கூடும். எந்த ஓர் ஆற்றல் வெளிவரு முறையும், எதிர்த்திசையில் ஆற்றல் உட்கவர் முறையாகச் செயற்படுமாதலால் கதிர்வீசலைக் குறுக்கிடுகின்ற எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலைத் திரும்பவும் உட்கவரலாம். சில எலக்ட்ரான் பங்கீடுகள் கதிர்வீசலை அதனுடைய இயல்பான நேர் கோட்டுப் பாதையிலிருந்து விலக்கலாம். சில எலக்ட்ரான் பங்கீடுகள் கதிர் வீசலை முழுமையாக எதிரொளிக்கவும் செய்யும். இறுதியாக, குறுக்கிடும் எலக்ட்ரான்கள் மூலக் கதிர் வீசலின் தளவிளைவை மாற்றலாம். ஆற்றல் பரவல் கோட்பாட்டின் அடிப்படைக் கொள்கைகள் லொரண்ட்ஸ் (Lorentz) என்பவரால் கொடுக்கப்பட்டன. பிறகு இவை ஆப்பிள்டன் (Appleton) முதலியோரால் ஒரு காந்தப் புலம் இருக்கும் பொழுது ஏற்படுகின்ற சிக்கலான நிலைமையை விளக்குவதற்கு விரிவாக்கப் பட்டன. இந்தக் கோட்பாட்டிற்குக் காந்த-அயனிக் கோட்பாடு (magneto-ionic theory) என்பது பெயர். இக் கோட்பாடு அயன மண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகளின் பண்புகளை விளக்குவதற்கு உறுதுணையாக இருந்தது. ரேடியோ வானியலில் வருகின்ற தொலை தூரங்களிலும் ரேடியோ அலைகளின் பண்புகளை விளக்க இதே கோட்பாடு சம அளவில் பயன்படுகின்றது.

இப் பகுதியில் பரப்பல் கோட்பாட்டைப் பற்றி முதலில் பார்ப்போம். பின்னர் ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தியாவதைப் பற்றிப் பார்ப்போம். இது குதிரைக்கு முன்னல் வண்டியை வைப்பது போலத் தோன்றலாம். ஆனல் ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தியாகும் முறையைப் புரிந்து கொள்வதற்கு, அலைகள் பரவும் விதத்தைப் பற்றிய அறிவு முதலில் தேவையாகும்,

பரப்பல் கோட்பாடு (Theory of propagation)

தடையற்ற வெளியில் (free space) எல்லா மின் காந்த அலைகளும் ஒளியின் திசை வேகத்தில் செல்லுகின்றன. அலைகளின் அதிர்வெண்ணும், தளவிளைவும் அவற்றின் திசை வேகத்தைப் பாதிப்பதில்லை. இத் திசை வேகம் 300,000 கி.மீ./விநாடி ஆகும். அதிர்வெண் $f$ உடைய ஓர் அலை $\frac{1}{f}$ விநாடி அலைவு நேரத்தில் ஒரு தடவை அலைவுறுகின்றது. இந்த நேரத்தில் அது $\frac{c}{f}$ செ. மீ. தொலைவைக் கடக்கின்றது. இங்கு $c$ என்பது செ. மீட்டரில் ஒளியின் திசை வேகமாகும். இவ்வாறு அலை நீளம்,

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது, காட்டாக, 1420 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியையுடைய ஓர் அலையின் நீளம் ஏறத்தாழ 21 செ. மீட்டர்களாகும். இது மின்னூட்டமற்ற ஹைடிரஜன் வெளிவிடு கோட்டின் அலை நீளமாகும்.

கட்டற்ற எலக்ரான்கள் (free electrons) நிறைந்த ஒரு பகுதி வழியே ரேடியோ அலை செல்லும்பொழுது, அவை அலையுடன் கூடவே அதிர்வுறுகின்றன; எனவே கொடுக்கப்பட்ட அதிர்வெண்ணில் அலை நீளத்தை மாற்றுகின்றன. நேர் மின் அயனிகளும்கூட அதிர்வுறுகின்றன. அவை அதிக நிறையுடையனவாக இருப்பதால் அவற்றின் விளைவுகளைத் தள்ளி விடலாம். ஒளியின் கோட்பாட்டில் உள்ளதைப் போலவே இங்கும் ஊடகத்தின் விலகல் எண் $n$ என்று கொள்ளலாம். இது தடையற்ற வெளியில் அலையின் திசை வேகத்திற்கும், ஊடகத்தில் அலையின் திசை வேகத்திற்கும் உள்ள தகவாகும். $n$-ன் மதிப்பு எலக்ட்ரான் அடர்த்தியைப் பொறுத்து அமையும். இந்த எலக்ட்ரான் அடர்த்தி, பிளாஸ்மா அதிர்வெண் அல்லது ஊடகத்தின் ஒத்தியைவு அதிர்வெண் $f_0$ஐ

$$f_0^2 = \frac{Ne^2}{\pi m} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

என்ற சமன்பாட்டின்படி வரையறுக்கும்.

இங்கு $N$ என்பது எலக்ட்ரான் அடர்த்தியையும், $e$ எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தையும், $m$ எலக்ட்ரான் நிறையையும் குறிக்கும். விலகல் எண் '$n$' என்பது,

$$n^2 = 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படும். $f_0$ சுழியிலிருந்து அதிகரிக்கும் பொழுது விலகல் எண் ஒன்றிலிருந்து குறைகிறது. $f_0 = f$ ஆகும் பொழுது $n$ சுழியாகிறது. $f_0 > f$ ஆகும்பொழுது $n$ ஒரு கற்பனை எண்ணாகும். கணித இயலின் அடிப்படையில் இது அலை எதிரொலிக்கப்படுகிறது என்பதைச் சுட்டிக்காட்டுகிறது. இந்த அலை எதிரொலிப்பை அயன மண்டலத்தைப் பொறுத்தவரை நாம் நன்றாக அறிந்துள்ளோம். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு கன செ. மீட்டருக்கு 1 மில்லியன் எலக்ட்ரான் அடர்த்தியை உடைய ஓர் ஊடகத்தை கவனிப்போம். பிறகு $f$-ன் மதிப்பு 9 மெகா சுற்றுகள்/வினாடியாகும். அதாவது அதிக அதிர்வெண் உள்ள அலைகள் பிளாஸ்மாவின் வழியே எளிதில் செல்லுகின்றன. ஆனால் குறைந்த அதிர்வெண்ணுள்ள அலைகள் முழுமையாக எதிரொலிக்கப்படுகின்றன. எதிரொலிக்கப்படாத அலைகளின் அலை நீளமும், கட்டத்திசை வேகமும் (phose velocity) அதிகரிக்கின்றன. இந்தக் கட்டத் திசை வேகம் ஒளியின் திசை வேகத்தைவிட அதிகரிக்கின்றது. பிளாஸ்மாவில் பரவ முடியாத அதிர்வெண்ணின் அளவு ஒரு நிறுத்துப் பட்டை (stop band) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது செலுத்தும் பட்டைக்கு (pass band) எதிரானது என்ற கருத்தில் அழைக்கபப்டுகிறது.

பிளாஸ்மாவின் ஓர் எல்லையில் செங்குத்தாகப் படுகின்ற ஓர் அலை $f = f_0$ ஆக இருக்கும்பொழுது எதிரொளிக்கப்படுகிறது. படிப் படியாக அதிகரிக்கின்ற எலக்ட்ரான் அடர்த்தியையும், குறைகின்ற விலகல் எண்ணையும் உடைய ஒரு தொடர்ச்சியான இணைத்தள அமைப்பையுடைய அடுக்குகளைக் கருதுவோம். $i$ படுகோணம் எனக் கொள்ளுவோம். (அலை பரவும் திசைக்கும் இணைத்தள அடுக்குகளின் செங்குத்துக் கோட்டிற்கும் இடையே உள்ள கோணமே படுகோணமாகும்). இந்தப் படுகோணம் $n$-ல் $L$ என்ற வெளிப்புற அடுக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படட்டும். இந்த அலை மெதுவாக விலக்கப்பட்டு, இறுதியாக $n$, $i_0$ இரண்டும் ஸ்நெல்லின் விதிப்படி (Snell's law).

$$n = \text{சைன்}\ i_0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

என்று கொடுக்கப்படுகின்ற ஒரு மட்டத்தில் முழுவதுமாக எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. சமன்பாடுகள் (2), (3), (4) ஆகியவற்றைத் தொகுக்கும்பொழுது எதிரொளிப்பு மட்டத்தில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $N$ கிடைக்கிறது. ஒரு தளப்பரப்பைவிட கோளப்

பரப்பில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி அதிகரிக்கும்பொழுது எதிரொளிப்பு சிக்கல்கள் நிறைந்ததாகும். ஆனுல் கோளத்தின் மையத்தை நோக்கிச் செலுத்தப்படுகின்ற ஒரு கதிர் எதிரொளிக்கப்படுவதற்கு முன்பு கோணத்தின் மிகத் தாழ்ந்த மட்டத்தை அடைகின்றது. என்பதைப் புரிந்துகொள்வது கடினமல்ல. கோளத்தின் மையத்தின் வழியே செல்லமுடியாத மற்ற இணைக்கதிர்கள் உயர் மட்டங் களிலே எதிரொளிக்கப்படுகின்றன.

முழுவதுமாக எதிரொளிக்கமுடியாத அளவு அடர்த்தி இருக்கு மானுல் ஓர் எலக்ட்ரான் கூட்டம் ரேடியோ அலையை ஒரு சிறு கோணத்தின் வழியே விலகும்படி (refraction) செய்யும். பூமியின் அயன மண்டலத்தில் இத்தகைய கூட்டங்கள் பெரு மளவில் உள்ளன. எனவே ஒரு ரேடியோ விண்மீனிலிருந்து வரும் கதிர்கள் இவ்வாறு விலக்கப்படுகின்றன. அதாவது பூமியில் ஒரு விண்மீனிலிருந்து வருகின்ற சைகை ஒழுங்கற்றும் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டேயும் காணப்படுகிறது. ஒரு தட்டில் வைக்கப் பட்டுள்ள நீரைக் கலக்கும்பொழுது அதன் அடிப்பாகத்தில் ஒளி தோன்றுகின்ற முறையை இதற்கு ஒப்பிடலாம். ஒரு ரேடியோத் தொலைநோக்கி ஒழுங்கற்று மாறுகின்ற இத்தகைய ஒரு சைகையைப் பதிவு செய்கிறது. இக் காட்சியை மினுமினுப்பு (scintillation) என்று சொல்லலாம். ஓர் உண்மையான விண்மீன் சிமிட்டு வதை (twinkling) நாம் அறிவோம். இச் சிமிட்டுதலுக்கு அயன மண்டலம் காரணம் அல்ல; வளிமண்டத்தின் கீழ்ப்பகுதியே காரணமாகும். ரேடியோத் தொலைநோக்கியின் பதிவுகளும் விண் மீன் சிமிட்டுவதைப்போலவே இருக்கும். விண்மீன் மினுமினுப் புகள் ரேடியோ வானியலில் ஒரு தனிப்பகுதியாகக் கொள்ளப் பட்டுள்ளன. இவற்றின் முடிவுகள் பெரும்பாலும் நமது வளிமண்ட லத்தைப் பொறுத்தே கூறப்படுவதால் இவை ஒரு புவியியற்பியல் (geo-physical) பிரச்சினையாகக் கருதப்படுகின்றன. எனவே அவற்றைப்பற்றி இங்கு விவரிக்க வேண்டியதில்லை.

இதுகாறும் நிலையான பிளாஸ்மாவில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு களைப்பற்றி மட்டுமே கூறினேம். தனிப்பட்ட அயான்கள் இயங்கு கின்றன; ஆனுல் ஒரு அயனி மேகம் நிலையாக உள்ளது. மேகமும் பார்வையாளரின் திசையில் '$v$' என்ற திசைவேகத்துடன் இயங்க ஆரம்பித்தால் ஒரு முக்கிய விளைவு தோன்றுகிறது டாப்ளர் அதிர்வெண்ணின் அதிகரிப்பு நிகழ்கிறது. '$f$' அதிர்வெண்ணை யுடைய ஒரு சைகையைப் பார்வையாளர் அனுப்பி அது மேகத் தால் எதிரொளிக்கப்படும்பொழுது, எதிரொளிப்பிற்குப் பின் அதன்

அதிர்வெண் $f\left(1+\frac{2v}{c}\right)$ என்றாகும். கதிர்வீசல் அசைகின்ற மேகத்தில் தோன்றும்பொழுது (எதிரொளிக்கப்படுவதற்குப் பதிலாக) அதன் அதிர்வெண் $f\left(1+\frac{v}{c}\right)$ என்று அளக்கப்படுகிறது. ஹைடிரஜன் கோடு, கோள்களிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புகள் ஆகியவற்றைப்பற்றி ஆராய்வதில் டாப்ளர் விளைவு முக்கியமானதாகும்.

பிளாஸ்மாவில் ஒரு காந்தப்புலம் இருக்கும்பொழுது மேலும் சில விளைவுகள் தோன்றுகின்றன. முதலாவதாக மூல அலை வெவ்வேறு தளவிளைவும், வெவ்வேறு திசை வேகமும் உள்ள இரு வெவ்வேறு அலைத் திசைகளாகப் பிரிகின்றது. ஊடகம் இரட்டை விலக்கம் (duoble refraction) உடையதாக ஆகிறது. இந்தக் கொள்கை ஒளியியலின் நன்கு தெரிந்ததொன்றாகும். இதன்படி $n$-க்கு ஒரே சமயத்தில் இரு வேறு மதிப்புகள் உள்ளன. இம் மதிப்புகள் $f_0$, ஒரு புதிய சாராமாறி $f_H=\frac{He}{2\pi mc}$ ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமையும். $f_H$ என்பது ஜைரோ அதிர்வெண் (gyro-frequency) என்று அழைக்கப்படும். இந்த அதிர்வெண்ணில் எலக்ட்ரான்கள் காந்தப்புலக் கோடுகளைப் பற்றிச் சுழலுகின்றன. ஒரு காஸ் வலிமையுள்ள காந்தப்புலத்தின் ஜைரோ-அதிர்வெண் 2·8 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி. $n$-ன் மதிப்புகள் பரப்பலின் திசையைப் பொறுத்து காந்தப்புலத்தின் திசையின் அடிப்படையில் அமையும். எனவே ஊடகம் திசையொப்புப் பண்பியலான முறையில் (isotropic) அமையாது.

காந்தப்புலம், ரேடியோ அலையைப் பாதிக்கின்ற முறையைத் தோராயமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம். ஒரு தள தள விளைவுற்ற (plane polarised) அலையின் மின்புலம் தாளின் தளத்திற்கு மேல் நோக்கிச் செங்குத்தாக இயங்குவதாகக் கொள்வோம். காந்தப் புலம் தாளின் தளத்தில் ஒரு கூறைப் பெற்றுள்ளதாகக் கொள்வோம். மின்புலம் எலக்ட்ரான்களை மேலும் கீழுமாக அலைவுறச் செய்யும். ஆனால் இவை இந்த இயக்கத்தை ஆரம்பிக்கும் பொழுது, காந்தப் புலம் இவற்றைத் தாளின் தளத்தில் ஒரு மின் புலக் கூறைப் பெற்று நீள்வட்டத் தள விளைவைப் பெறும். இயல்பாக உள்ள பல்வேறு அலை அமைப்புகள் இரண்டு வித அலைகளாக ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணிற்கு ஒரே சமயத்தில் தோன்றுகின்றன. இவ்விரண்டு வித அலைகளும் வெவ்வேறு அலை நீளங்களையும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களையும் கொண்டு இருக்கும்.

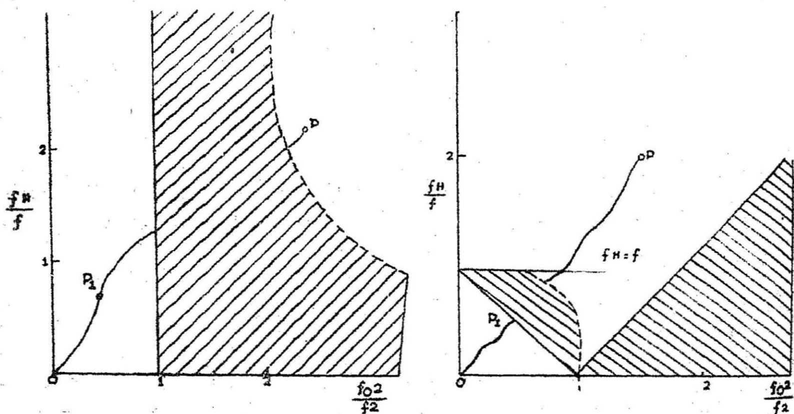
இதுவே இரட்டை விலக்கம் எனப்படும். இவை சாதாரண அலை (*O*) அசாதாரண அலை (*E*) என அழைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு காந்தப் புலத்தின் வழியே ஓர் அலை பரவுகின்ற எளிய ஓர் எடுத்துகாட்டிலிருந்து இந்த *O*, *E* அலைகளின் சில பண்புகளைப் புரிந்து கொள்ளலாம். இரு அலைகளுமே வட்டத் தள விளைவுற்றிருக்கும். ஒன்று வலஞ் சுழியாகவும் (dentro rotatory) மற்றொன்று இடஞ் சுழியாகவும் (lavo rotatary) தள விளைவுற்றிருக்கும். அப்பொழுது விலகல் எண்ணின் இரு மதிப்புகளைச் சமன்பாடு,

$$n^2 = 1 - f_0^2 ( f^2 \pm f f_H )^{-1} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

கொடுக்கும். நேர்க்குறி *O* அலையையும், எதிர்க்குறி *E* அலையையும் குறிக்கும். *O* அலையின் சமன்பாட்டில் $f^2$-க்கு பதிலாக $(f^2 + f f_H)$ பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது என்பதைத் தவிர, இது சமன்பாடு (3) ஐ முழுவதும் ஒத்தது. $f^2 + f f_H > f_0^2$ ஆக இருக்கும்பொழுது ஒரு செலுத்தும் பட்டை கிடைக்கின்றது. மற்ற அதிர் வெண்களுக்கு நிறுத்தும் பட்டை கிடைக்கின்றது. *E* அலைக்கு இரு வெவ்வேறான பகுதிகள் உள்ளன. *E* அலைகளின் பண்புகளும் சிக்கல் நிறைந்தவையாகும்.

*O*, *E* அலைகளில் செலுத்தும் பட்டை, நிறுத்தும் பட்டை ஆகியவை படம் 5·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.




படம் 5.1.

*E*, *O* அலைகளின் செலுத்தும், நிறுத்தும் பட்டைப் பகுதிகள். கோடிட்ட பகுதிகள் நிறுத்தும் பட்டையைக் குறிக்கின்றன.

இரு படங்களிலும் எந்த ஒரு புள்ளியும் இரு மாறிகள் $\frac{f_0^2}{f^2}$, $\frac{f_H}{f}$ ஆகியவற்றின் குறிப்பிட்ட மதிப்புகளைக் கொடுக்கின்றன. புலத்

திற்கும் பரப்பல் திசைக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 30 டிகிரியாக இருக்கும்பொழுது இந்தப் படங்கள் வரையப்பட்டுள்ளன. இருப்பினும் அவைகளின் முக்கியமான பண்புகள் பரப்பல் கோணம் முழுவதும் மாறுவதில்லை. எனவே இவற்றிலிருந்து கிடைக்கின்ற பொதுப்படையான முடிவுகள் ரேடியோ வானியல் நிபுணர்களுக்கு உபயோகமாக உள்ளன. காட்டாக, படங்களில் $P$ என்ற புள்ளி சூரிய வளி மண்டலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் $\frac{f_H}{f}$, $\frac{f_0{}^2}{f^2}$ ஆகிய மாறிகளின் மதிப்புகளைக் கொடுப்பதாகக் கொள்வோம். இப் புள்ளியிலிருந்து கிளம்பி சூரிய வளி மண்டலத்தை விட்டுச் செல்லுகின்ற கதிர்வீசல் தொடர்ச்சியாகக் குறையும் காந்தப் புலங்களையும், குறையும் பிளாஸ்மா அடர்த்திகளையும் உடைய பகுதிகள் வழியே செல்லவேண்டும். கட்டற்ற வெளி வழியே சென்று பூமியை அடைவதற்கு அதனுடைய பாதை $f_H = f_0 = O$ என்ற பகுதியை அடையவேண்டும். $f_0 > f$ என்றுள்ள மட்டங்களிலிருந்து $O$ அலைகளோ, $E$ அலைகளோ பூமியைச் சென்று அடைய முடியாது என்பது வெள்ளிடை மலை. $O$ அலைகளைவிட $E$ அலைகள் இன்னும் கடுமையாகச் செயலிழந்துவிடுகின்றன. ஏனெனில் அவை $\frac{f_0{}^2}{f^2} + \frac{f_H}{f} > 1$ என்ற பகுதிகளிலிருந்து தப்பிச் செல்ல இயலாது. ஆயினும் $P^1$ என்று குறியிடப்பட்ட புள்ளிகளிலிருந்து அவைகள் தப்பிச் செல்லமுடியும்; ஏனெனில் இங்கு

$$\frac{f_0{}^2}{f_0} + \frac{f_H}{f} \leqslant 1.$$

$O$, $E$ அலைகளைப்பற்றி மேலும் கூறவேண்டியதில்லை. ஆனால் ரேடியோ வானியலில் சிறிது முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஃபாரடே விளைவைப் பற்றிச் சிறிது கூறுவோம்.

$f$ உடன் ஒப்பிடும்பொழுது, $f_H$ மிகச் சிறியதாக இருக்கும் பொழுது, சமன்பாடு (5) ஐக் கருதுவோம். $f_H$, தள்ளக்கூடிய அளவு சிறியதாக இருந்தால் ஒரு திசை வேகத்தில் செல்லுகின்ற இரண்டு வட்டத் தள விளைவுற்ற அலைகள் கிடைக்கின்றன. அப்பொழுது வலஞ்சுழியாகவும் இடஞ் சுழியாகவும் சுழலுகின்ற இரு வெக்டர்களைத் தொகுக்கும்பொழுது ஒரு தளத் தள விளைவுற்ற அலைக்குப் பொருந்திய நிலையான ஒரு வெக்டர் கிடைக்கும் எனக் காட்டலாம். இருந்தபோதிலும் $f_H$ ஒரு சிறிய விளைவை உண்டாக்கி இரு அலைகளையும் இரு வெவ்வேறான திசைகளில் செல்லும்படி செய்யும். இதன் விளைவாகத் தளத் தள விளைவுற்ற

அலை தன்னுடைய தள விளைவுத் தளத்தைத் தான் முன்னோக்கி நகரும்பொழுது சுழலும்படி செய்யும்.

சூடான பிளாஸ்மாவிலிருந்து வெப்பக் கதிர் வீசல்

கிரிச்சாவ் விதிப்படி (Kirchoff's law) அயனியாக்க மடைந்த வாயு ரேடியோ அலைகளை உட்கவர முடியுமானால் அவற்றை வெளிவிடவும் முடியும். இது வரை பிளாஸ்மாவில் உட்கவர்தல் முறையைப் பற்றிக் கூறுமலேயே அலைகள் பரவும் விதத்தைப் பற்றிக் கூறப்பட்டது. ஆனால் கதிர் வீசலைப்பற்றி அறிந்து கொள்வதற்கு இப்பொழுது உட்கவர்தல் முறையைப் பற்றியும் கூறியாக வேண்டும். பிளாஸ்மாவின் எலக்ட்ரான்கள் அலைவுறும் மின்புலத்தினால், முடுக்கப்பட்டு அலையின் ஆற்றலைப் பகிர்ந்து கொள்கின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் மற்ற துகள்களுடன் மோதாமல் இருந்தால் அந்த ஆற்றல் விரையமாவதில்லை; மாறாக, அலைக்குத் திரும்பக் கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே அலை பிளாஸ்மாவை எந்தச் செறிவில் அடைந்ததோ அதே செறிவில் நீங்குகிறது, இது, அலை பிளாஸ்மாவைக் கடக்கும் பொழுதும், (செலுத்தும் பட்டை அதிர்வெண்) பிளாஸ்மாவில் எதிரொளிக்கப் படும் பொழுதும் (நிறுத்தும் பட்டை அதிர்வெண்) நிகழ்கிறது. எலக்ட்ரான்கள் மோதுண்டால் அவைகளுக்கு அலையால் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் சிதறுகின்றது. எனவே அலை தனது ஆற்றலில் நடுப் பகுதியைக் கொடுக்கின்றது. எனவே அலையின் வலிமை குறைகின்றது.

இதே விதமான மோதல்களால் ஆற்றல் வெளி வருதலும் கீழ்க் கண்டவாறு நடைபெறுகின்றது. எலக்ட்ரான்களுக்கு அவற்றின் சொந்த வெப்ப ஆற்றல் உண்டு. இது அவை எல்லாத் திசைகளிலும் செல்வதால் உண்டாகும் இயக்க ஆற்றலாகும். ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு கனமான அயனிக்கு அருகில் செல்லும் பொழுது, அயனியில் உள்ள மின்னூட்டத்தின் காரணமாக உண்டாகும் மின் புலம் அந்த எலக்ட்ரானை அதனுடைய பாதையிலிருந்து விலக்குகின்றது. இந்த விலக்கம் அல்லது முடுக்கம் நிகழும் பொழுது எலக்ட்ரான் ரேடியோ அலைகளை வெளிவிடுகின்றது. இந்த ஆற்றலுக்குக் காரணம் எலக்ட்ரான்களின் வெப்ப ஆற்றலேயாகும். எலக்ட்ரான் மோதல்கள் ஏற்படும் பொழுது ஆற்றல் வெளி வருதலோ அல்லது உட்கவர்தலோ நிகழும் என்பது வியப்பாகத் தோன்றலாம். ஆயினும் எலக்ட்ரான் முடுக்கப்படுகின்ற கணத்தில் அது கதிர் வீசலை உட்கவரக் கூடிய நிலையிலோ அல்லது வெளிவிடக் கூடிய நிலையிலோ இருக்கும்.

ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு விநாடியில் $\gamma$ மோதல்களைக் கொண்டால் பிறகு ஓர் அலை உட்கவரப்படுகின்ற வீதம் $\gamma$-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். மேலும் அது பல்வேறு காந்த—அயனி சாராமாறிகளைப் பொருத்தும் அமையும். படம் 5·1-ல் நிறுத்துப் பகுதிகளுக்குத் தொலைவில் உள்ள பகுதிகளுக்கு ஒரு காந்தப்புலம் இருக்கும் பொழுது ஓர் எளிய பிளாஸ்மாவிற்கு உட்கவர்தல் எண்ணைக் கூறுவது மட்டுமே நமக்குப் போதுமானது. இந்த நிலைகள் பொதுவாக விண்வெளியிலுள்ள மேகக் கூட்டங்களுக்கும், சூரியப் புள்ளிகளைத் தவிர்த்த சூரிய வளி மண்டலத்திற்கும் பொருந்தும். பிறகு உட்கவர் எண்ணைத் தோராயமாக

$$K = \frac{\gamma f_0^2}{cf^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

என்று குறிப்பிடலாம். அதாவது ஊடகத்தின் தூரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அலையின் ஆற்றல் குறையும்.

முழுவதுமாக அயனியாக்க மடைந்த ஹைடிரஜன் பகுதிகளில், உட்கவர்தல் எண்

$$K = \frac{0 \cdot 1 N^2}{f^2 T^{\frac{3}{2}}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் கொடுக்கப்படுகிறது. '$S$' தூரம் சென்ற பிறகு அலை தன்னுடைய திறனில் $exp\ (-KS)$ பகுதியைக் கொண்டுள்ளது. எனவே $\{ 1 - exp\ (-KS) \}$ பகுதியை இழந்துள்ளது, பிந்தையக் கோவை $S$ தடிமன் உள்ள பிளாஸ்மாவின் ஆற்றல் புகாத் தன்மையின் அளவாகும். $T$ டிகிரி வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தும்பொழுது அதன் பொலிவு வெப்பநிலையை (brightness temperature)

$$T_b = T \{ 1 - exp\ (-KS) \} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகின்றது.

பொலிவு வெப்பநிலை என்பது, உண்மை வெப்பநிலை, ஆற்றல் புகாத தன்மையின் அளவு ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனாகும் பொலிவு $b$ ஐ

$$b = \frac{2\ KT}{\lambda^2} \{ 1 - exp\ (-KS) \} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

என்ற சமன்பாட்டினாலும் பெறலாம்.

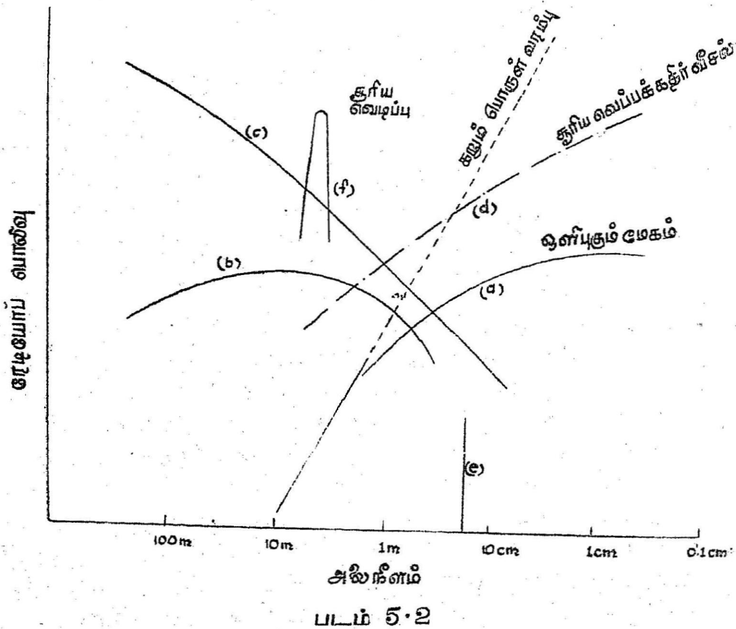
$KS$ என்பது ஒன்றைவிட மிகவும் அதிகமாக இருக்கும் பொழுது எலக்ட்ரான் மேகத்தின் வழியே அலை புக முடியாது. எனவே அது ஒரு கரும் பொருளைப் போல ஆற்றலை வெளி விடுகின்றது. அப்பொழுது $\{1 - exp(-KS)\}$ -ன் மதிப்பு ஒன்று ஆகும். $KS$-ன் மதிப்பு ஒன்றைவிடக் குறைவாக இருக்கும் பொழுது தோராயமாக,

$$b = \frac{2K\,T\,K\,S}{\lambda^2}$$

என எழுதலாம். சமன்பாடு (7)-லிருந்து பதிலீடு செய்து $f\lambda = c$ என்று எழுதும் பொழுது,

$$b = \frac{0{\cdot}2K\,N^2\,S}{C^2\,T^{\frac{1}{2}}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

இந்தக் கோவை அலையின் அதிர்வெண், நீளம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தமையாது. படம் 5·2-ல் இது வளை கோட்டின் கிடைமட்டப் படுகைக்கு பொருந்தும்.




படம் 5·2

நேரான சரிவுப் பகுதி கரும் பொருள் கதிர் வீசலைக் குறிக்கும். இங்கு $b$ என்பது $\lambda^2$-க்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். வளை கோட்டின் முழுப்பகுதியும் அயனியாக்கமடைந்த வாயு மேகத்தின் ஆற்றல் மாலையைக் குறிக்கும்.

**காந்த — முடுக்கக் கதிர் வீசல்**

செறிவு $H$ உள்ள ஒரு காந்தப் புலத்தில் ஒரு திசை வேகத்துடன் இயங்குகின்ற எலக்ட்ரான் ஒரு வட்டப் பாதையில் செல்லுகின்றது. அது வட்டப் பாதையில் செல்லும் தடவைகள் $f_H = \frac{He}{2\pi mc}$ என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. இது ஒரு வினாடியில் ஓர் எலக்ட்ரானின் சுழற்சியைக் குறிக்கும். எலக்ட்ரான் முடுக்கப்படுவதால் அது ரேடியோ அலைகளை வீச வேண்டும். இதற்கு ஜைரோ கதிர் வீசல் என்பது பெயர்.

ஜைரோ கதிர்வீசலை அதன் எதிர்க் கொள்கையான ஜைரோ உட்கவர்தலை ஆராய்வதன் மூலம் தெளிவாகத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இதற்கு ஓர் ஊடகத்தில் அலை அதிர்வெண் $f$ ஆனது ஜைரோ அதிர்வெண் $f_H$-க்குச் சமமாக இருக்கும் நிலையை எடுத்துக்கொள்வோம். புலத்தின் வழியே பரவுதல் நிகழும்பொழுது விலகல் எண் சமன்பாடு (5) ஆல் பெறப்படுகிறது. இதிலிருந்து எதிர் குறிக்குச் சரியான $E$ அலைக்கு $n$, ஈறிலியை (infinity) அடைவது தெரிகின்றது. அதாவது அலைக்குத் திசைவேகமே கிடையாது. அது தன் ஆற்றல் முழுவதையும் எலக்ட்ரான்களுக்குக் கொடுத்துவிடுகின்றது. இந்த ஆற்றல் உட்கவர்தல் முறை மிகவும் திறம்பட நடைபெறுகின்றது. ஏனெனில் எலக்ட்ரான்கள் அலையுடன் ஒரே கட்டபேதத்தில் சுழன்று அலையின் ஆற்றலைத் தொடர்ந்து உட்கவர்ந்து தங்களது இயக்க ஆற்றலை அதிகரித்துக் கொள்கின்றன.

இதற்கு எதிரான முறையில் அலையில்லாதபொழுது எலக்ட்ரான்கள் விரைவாகத் தாங்கள் பெற்ற ஆற்றலை வீசுகின்றன. ரேடியோ வானியலின் தொடக்கத்தில் சூரியக் கதிர்வீசலுக்கு "ஜைரோ கதிர்வீசல்" காரணமாக இருக்கலாம் எனக் கருதப்பட்டது. படம் 5·1-லிருந்து அது இருக்கமுடியாது எனப் புரிகிறது; ஏனெனில் இங்குக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது $E$ அலைப் பகுதி, $f_H = f$ என்று குறிக்கப்பட்டுள்ள கிடைமட்டக் கோட்டுப் பகுதியாகும். ஏனெனில் இதுதான் ஜைரோக் கதிர்வீசலுக்கான நிபந்தனையாகும். இந்தக் கோட்டின் வழியே எந்த இடத்தில் இருந்தும் ($f = o$ என்ற பகுதியைத் தவிர) கதிர்வீசல் சூரிய

வளி மண்டலத்திலிருந்து புறப்படுவது நிறுத்தும் பட்டையினுல் தடுக்கப்படுகிறது.

ஜைரோக் கதிர்வீசல் ஒளியின் திசைவேகத்தை விடக் குறைந்த திசை வேகத்தையுடைய எலக்ட்ரான்களால் வெளிவிடப் படுகிறது. எலக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்பொழுது சில விஞேதமான விளைவுகள் தோன்றுகின்றன. முதலாவதாக ஐன்ஸ்டைனின் சார்புக் கொள்கைப்படி (Relativity theory) அவற்றின் நிறை அதிகரிக்கிறது இக் கொள்கையின்படி நிறை ஆற்றல் இரண்டிற்கும் ஒரு பொது இணைமாற்றம் உள்ளது. இது எந்தவிதமான ஆற்றலுக்கும் பொருந்தும். இதை,

$$E = mc^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

என்ற சமன்பாட்டினுல் குறிப்பிடலாம்.

இங்கு $E$—ஆற்றல்

$m$—எலக்ட்ரானின் நிறை (அல்லது எந்தத் துகளின் நிறையையும் குறிக்கும்).

$C$—ஒளியின் திசை வேகம்.

ஓர் எலக்ட்ரானின் நிறை $9 \cdot 1 \times 10^{-28}$ கிராம்களாகும். எனவே, ஓய்விலிருக்கும்பொழுது ஓர் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் $8 \cdot 2 \times 10^{-7}$ எர்குகள் அல்லது $5 \cdot 1 \times 10^5$ $ev$ (எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்) ஆகும். ஓர் எலக்ட்ரானுக்கு $5 \cdot 1 \times 10^5 ev$ ஆற்றலைக் கொடுத் தால் பிறகு அதனுடைய மொத்த ஆற்றல் $E_T$ அதன் ''ஓய்வு நிறை ஆற்றலை'' (rest mass energy) விட இருமடங்காகும். இவ்வளவு அதிக ஆற்றல்கள் வளியின் திசை வேகத்தை நெருங்கு கின்ற எலக்ட்ரானின் ஆற்றலுக்கு ஒப்பாகும். காட்டாக, $2 \cdot 6 \times 10^5$ $ev$, $\frac{3}{4}c$ திசை வேகத்திற்கு ஒப்பாகும்.

இந்த நிலையில் எலக்ட்ரான் ஜைரோ அதிர்வெண் $f_H$ -ன் சீரிசை அதிர்வெண்களை வெளியிட ஆரம்பிக்கிறது. வேகம் $\frac{3}{4}c$-ல் இரண்டாவது சீரிசை அதிர்வெண், அடிப்படை அதிர்வெண்ணைப் போலவே வலுவுள்ளதாக இருக்கும். மூன்ருவது சீரிசை அதிர் வெண் சிறிதே வலிவு குறைந்து காணப்படும். இன்னும் அதிகமானத் திசை வேகங்களில் கதிர்வீசல் இன்னும் அதிகமான சீரிசை அதிர்வெண்களிலேயே செறிந்து காணப்படும். உண்மை யில் மொத்த ஆற்றல் $E_T$, ஓய்வுநிலை ஆற்றலைவிடப் பலமடங்கு அதிகமாக இருக்கும். பிறகு,

$$f_m = \frac{1}{2} f_H \left( \frac{E_T}{mc^2} \right)^2 \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (12)$$

என்ற சமன்பாட்டிஞல் பெறப்படுகின்ற அதிர்வெண்களின் பெரும் அளவில் கதிர்வீசல் நடைபெறுகின்றது. இந்த வகையான காந்த முடுக்கக் கதிர்வீசல் (magnetic acceleration emission), சிங்க்ரோட்ரான் கதிர்வீசல் (Synchrotron emission) எனப் பெரும்பாலும் அழைக்கப்படுகிறது. ஏனெனில் மனிதஞல் செய்யப்பட்ட சிங்க்ரோட்ரான் முடுக்கிகள் சில வேளைகளில் இதே மூலத்தையுடைய ஒளி அலைகளை உண்டாக்குகின்றன. சிங்க்ரோட்ரான் அல்லது காந்த முடுக்கிக் கதிர்வீசலே காஸ்மிக் கதிர் வீசலின் பெரும் பகுதிக்குக் காரணம் என்று காட்டப்பட்டுள்ளது, ரேடியோ வானியலில் ஒரு முக்கியமான முன்னேற்றமாகும்.

அண்டைவெளியின் சுருள் வில் புயத்தில் $10^{-5}$ காஸ் செறிவுள்ள காந்தப்புலங்கள் உள்ளன. எனவே எலக்ட்ரான்கள் 28 சுற்றுகள்/விஞடி உள்ள ஜைரோ அதிர்வெண்ணைப் பெற்றிருக்கும். இதற்கொப்பான அலை நீளம் 0·10000 கி. மீட்டர்களாகும். இந்த அலைகளால் ரேடியோ வானியல் நிபுணர்களுக்கு எந்தக் குறிப்பிட்ட பயனும் இல்லை. ஆஞல் எலக்ட்ரானின் திசை வேகம் அதிகரிக்கும்பொழுது நிலைமை மாறுகின்றது. எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் 1000 *mecv* (million electron volt) ஆகும்பொழுது அவைகளின் பெரும் ஆற்றல் சமன்பாடு (12)ஆல் கொடுக்கப்பட்ட அதிர்வெண்ணில், அதாவது, 54 மெகா சுற்றுகள்/விஞடியில் வெளிவிடப்படுகிறது. இதற்கொப்பான அலை நீளம் 5·6 மீட்டர்களாகும். இது ரேடியோ வானியல் பட்டையில் அமைந்துள்ளது.

54 மெகா சுற்றுகள்/விஞடிக்கு ஒப்பான அதிர்வெண் $1·9 \times 10^6$ வரிசைக்கொப்பான சீரிசை அதிர்வெண்ணுக்கு ஒப்பாகும். இயல்பாகவே ஒரே ஒரு சீரிசை அதிர்வெண் வெளியிடப்படுவதில்லை. 28 சுற்றுகள்/விஞடி இடைவெளியில் ஒரு நீண்ட தொடர்ச்சியான அதிர்வெண்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இதன் விளைவு 54 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-உடைய ஒரு கதிர்வீசல் ஆற்றல் மாலையாகும். இத்தகை மாலையே படம் 5·4-ல் வளைகோடு (*b*)-ஞல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அது குறுகிய அலைப்பகுதியில் விரைவாகவும் நீண்ட அலைப்பகுதியில் மெதுவாகவும் இயங்குகின்றது. 10-லிருந்து 1 அலை நீளம் பகுதியில் பெருமத்திற்கருகே அது 1·4 – 1 என்ற அளவிலேயே மாறுபடுகிறது. ஆற்றல் மாலையின் இந்த அம்சமே மாறுபடுகின்ற சூரிய ரேடியோக் கதிர்வீசலின் பெரும்பகுதி சிங்க்ரோட்ரான் கதிர்வீசல்கள் அல்ல என்று

நிறுவியது ; ஏனெனில் அவைகளின் ஆற்றல் மாலைகள் மிகவும் குறுகியவையாக இருந்தன.

நமது பூமி ஏறக்குறைய ஒளியின் திசை வேகத்தில் செல்லு கின்ற அயான்களால் தொடர்ந்து தாக்கப்பட்டுக் கொண்டே இருக் கிறது என்பது நாம் அறிந்ததொன்று. இந்தக் காஸ்மிக் கதிர்கள் $10^{18}$ ev-க்கும், அதற்கு மேலும் ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன. அவை களின் ஆற்றல் $10^{9}$ ev-க்குக் குறையும்பொழுது அவைகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. $10^{9}$ ev-க்குக் கீழே அவை காந்தப் புலத்தினால் விலக்கப்படுகின்றன. எனவே அவற்றைப் பூமியின் துருவங்களைத் தவிர மற்றப் பகுதிகளில் நாம் உணர முடிவதில்லை. பூமியில் அறியப்படுகின்ற காஸ்மிக் கதிர்கள் பெரும்பாலும் புரோட் டான்களையுடைய கனமான அயனிகளாகும். எலக்ட்ரான் காஸ்மிக் கதிர்கள் நேரடியாக அறியப்படவில்லை. எலக்ட்ரான் காஸ்மிக் கதிர்களும் உள்ளன. அவற்றை ரேடியோத் தொலை நோக்கிகள் மூலம் அறியலாம் என்பது இப்பொழுது உணரப்பட்டுள்ளது. இவ் வாறு ரேடியோ வானியல் காஸ்மிக் கதிர் இயற்பியலுக்கு ஒரு புதிய பிரிவைச் சேர்த்துள்ளது.

காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்கள், காஸ்மிக் கதிர் புரோட்டான் களைப்போல ஆற்றல் பங்கீட்டைக் கொண்டிருந்தால், அதாவது அதிக ஆற்றலையுடைய துகள்களின் எண்ணிக்கை கணிசமாகக் குறைந்திருந்தால் பிறகு அவைகளின் ரேடியோ மாலை படம் 5·2-ல் வளைகோடு (*c*) ஐ ஒத்திருக்கும். குறைந்த ஆற்றலையுடைய துகள்கள் நீண்ட அலைநீளங்களில் மிக நன்ருகக் கதிர் வீசும். மேலும் அவை அதிக அளவில் இருப்பதால் ரேடியோ மாலை வளை கோடு நீண்ட அலைப் பகுதியை நோக்கி நிலையாக அதிகரிக்கும். பெரும்பாலான காஸ்மிக் ரேடியோ மூலங்களையுடைய ஆற்றல் மாலையும் அண்டவெளியின் ஆற்றல் மாலையும் இதே அமைப்பைக் கொண்டுள்ளன. இப்பொழுது பொதுவாகக் கதிர்வீசல் சிங்க்ரோட் ரான் முறையில் நடைபெறுகிறது என்று ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது.

**சிரன்கோவ் கதிர்வீசலின் இருவகைகள்**

மேலே கண்டவாறு, ஓர் எலக்ட்ரான் ஓர் அயனியுடன் மோதும்பொழுது ரேடியோ அலையை வெளிவிடலாம் ; ஒரு காந்தப் புலம் இருக்கும்பொழுது *O* அலைகளோ அல்லது *E* அலைகளோ வெளிவிடப்படலாம். இதிலிருந்து சிறிதளவு மாறுபட்ட வேருெரு கதிர்வீசல் முறையும் உள்ளது. இக் கதிர்வீசல் ஒரு வேகமாகச் செல்லுகின்ற அயனி (ஒரு எலக்ட்ரான், அல்லது கனமான அயனி) பிளாஸ்மா வழியே செல்லும்பொழுது நடைபெறுகிறது. அவ்வாறு

செல்லும்பொழுது ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும், உண்மையான மோதல் நிகழாதபொழுதும்கூட, சிறிதளவு தள்ளப்படுகிறது. எனவே அது கதிர் வீச முற்படுகிறது. பல்வேறு எலக்ட்ரான்களிலிருந்து கிளம்புகின்ற எல்லா அடிப்படை அலைகளும் ஒன்றையொன்று அழித்துக்கொள்வதால் பொதுவாக ஓர் அலையும் வெளிவிடப்படுவதில்லை. ஊடகத்தில் உள்ள ரேடியோ அலையின் திசை வேகத்தைவிட அதிகமான திசை வேகத்துடன் மூல அயனி செல்லும்பொழுது இந்த நிலைமை மாறுகின்றது. பிறகு ஒரு நிலையான அலையைக் கிளர்ச்சியூட்டுவதற்குப் பதிலாக அது ஓர் அதிர்ச்சி அலையைக் கிளர்ச்சியடையச் செய்கிறது. ஒரு விமானம் காற்றில் ஒலியின் திசை வேகத்தைவிட அதிகமான திசை வேகத்தில் செல்லும்பொழுது தோற்றுவிக்கப்படும் அதிர்ச்சி அலைகளுக்கு (shock waves) இது ஒப்பாகும்.

இந்த வகையான சிரன்கோவ் கதிர்வீசல் முறையின் முக்கியக் கருத்து, அயனியின் திசைவேகம் அலையின் திசை வேகத்தை விட அதிகரிக்கிறது என்பதேயாகும். ஒளியின் திசை வேகத்திற்கும் அலையின் திசை வேகத்திற்கும் உள்ள தகவே ஊடகத்தின் விலகலெண் '$n$' ஆகும். $n < 1$ ஆக இருந்தால் அலையின் திசை வேகம் ஒளியின் திசை வேகத்தைவிட அதிகமாகும். இத் திசை வேகத்தில் எந்த அயனியும் செல்ல முடியாது. எனவே கதிர்வீசல் நிகழாது. ஒரு காந்தப் புலம் இல்லாத பிளாஸ்மாவில் அதாவது $n < 1$ ஆக இருக்கும் பொழுது இது நிகழும். ஆனால் காந்தப் புலம் இருக்கும் பொழுது $E$ அலை, $C$ ஐ விடக் குறைவான திசை வேகங்களைக் கொள்ளும். (சமன்பாடு (5)-ல் எதிர்க் குறி பொருந்தும்) எனவே சிரன்கோவ் முறையில் $E$ அலைகள் உற்பத்தி செய்யப்படும். நிறைய அலைகள் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு அவை மூலத்தை விட்டுப் பல்வேறு திசைகளில் செல்லும். ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணையுடைய அலை செல்லுகின்ற திசையானது அதன் கட்டத் திசை வேகத்தையும் கிளர்ச்சியூட்டுகின்ற துகளின் திசை வேகத்தையும் பொறுத்திருக்கும். அலை பரவுகின்ற திசையில் பிந்தையதின் கூறு கட்டத் திசை வேகத்திற்குச் சரிசமமாக இருக்க வேண்டும்.

சிரன்கோவ் முறையில் அயனித் திசை வேகத்தை விடக் குறைந்த கட்டத் திசை வேகத்தையுடைய எந்த அலையையும் உண்டாக்கலாம். $O$ அலைகள் $E$ அலைகளுடன் கூட அயனியாக்கமடைந்த வாயுக்களில் ஒரு மூன்றாவது அலையும் பரவலாம். இது ஒரு மின்னியல் சூழ்-மின்னூட்ட அலை (electric space charge wave) ஆகும். இது எலக்ட்ரான் கொத்துக்களாலோ (electron

bunches), அவை தங்களுடைய எதிர் மின்னூட்டங்களால் ஒன்றையொன்று தள்ளிக் கொள்வதாலோ, இவை மாறி மாறி நிகழும் பொழுது உண்டாகிறது. இது புரோட்டான் வாயுவைப் பொறுத்தில்லாத எலக்ட்ரான் வாயுவில் ஒலி அலைகள் (sound waves) செல்வதைப் பொறுத்திருக்கும். இந்தச் சூழ் மின்னூட்ட அலைகள் ஒளியின் திசை வேகத்தை விட மிகக் குறைந்த கட்டத் திசை வேகங்களைப் பெற்றிருக்கலாம். எனவே இவை தேவையான அளவு வேகமாகச் செல்லுகின்ற அயனிகளால் உண்டாக்கப்பட வேண்டும். இவ்வாறு சிரன்கோவ் முறையில் இரு வெவ்வேறு வகையான அலைகள், அதாவது $E$ அலைகளும், சூழ் மின்னூட்ட அலைகளும் உற்பத்தி செய்கின்றன.

சூழ் மின்னூட்ட அலை அது உற்பத்தி செய்யப்படுகின்ற பிளாஸ்மாவை விட்டு நீங்கிச் செல்ல முடியாது. ஏனெனில் ரேடியோ அலைகள் மட்டும்தான் வெற்றிடத்தில் பரவ முடியும். இருப்பினும் சூரிய வளி மண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்வதற்கு இந்தச் சூழ் மின்னூட்ட அலைகள் மிகவும் முக்கியமாகும். இந்த அலைகள் ஒன்ரேடொன்று மோதி ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்கின்றன.

$O$ அலைகள், $E$ அலைகள், சூழ் மின்னூட்ட அலைகள் ஆகியவற்றுடன் கூட நான்காவதாக வேறு ஒருவித அலையும் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. அதாவது, காந்தப் புலத்தினல் மாற்றப்படுகின்ற ஒலி அலையாகும். இது மிகக் குறைந்த அதிர்வெண்களிலேயே நிகழ்வதால் இதைப்பற்றி விவரிக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

இனி வளருகின்ற சூழ் மின்னூட்ட அலையின் வேருெரு கோட்பாட்டைப் பற்றிப் பார்ப்போம். முதல் தோற்றத்தில் இது சிரங்கோவ் முறையில் இருந்து மாறுபட்டது போல் தோன்றுகிறது. உண்மையில் இது சிரங்கோவ் முறையில் மூன்று பரிமாண (three dimensional) வகையாகும். ஆனல் இது பெரும்பாலும் ஒப்புக்கொள்ளப் படவில்லை.

**மின்னியல் சூழ் - மின்னூட்ட அலைகளும் மேகங்களும்**

எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு திசைகளில் இயங்கும் வெப்ப இயக்கத்தைக் கருதாமலே காந்த அயனிக் கோட்பாடு உருவாக்கப் பட்டுள்ளது. அதாவது எலக்ட்ரான்கள் ஓர் இலட்சியக் குளிர்ந்த வாயுக்கள் எனக் கருதப்பட்டுள்ளன. அயன மண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகள் பரவும் விதத்தைக் கருதும்பொழுது இதைத்

தோராயமாகச் சரியெனக் கொள்ளலாம். மிகவும் சூடாக்கப்பட்ட வாயுக்களில் ரேடியோ அலைகள் பரவும்பொழுது இது சில பிழைகளை உண்டாக்குகிறது. ஆனால் மிக முக்கியமான கருத்து என்னவென்றால் இது மேலே கூறப்பட்ட மூன்றாவது வகையான மின்னியல் சூழ் மின்னூட்ட அலையை முழுவதுமாகத் தள்ளி விடுகிறது.

காந்தப் புலம் இல்லாத ஓர் எளிய பிளாஸ்மாவில் இந்த அலையின் திசைவேகம்,

$$V = v\left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. இங்கு $v$ என்பது தனிப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் தோராயத் திசை வேகமாகும். சமன்பாடு (2) ஆல் கொடுக்கப்பட்டபடி $f_0$ என்பது பிளாஸ்மா அதிர்வெண்ணாகும். ரேடியோ அலையில் உள்ளது போலவே இங்கும் ஒரு செலுத்துப் பட்டையும், ஒரு நிறுத்தும் பட்டையும் உள்ளன. நிறுத்தும் பட்டையிலிருந்து தொலைவில் அலையின் திசைவேகம் ஏறத்தாழ '$v$' ஆகும். அலைகளை இந்தத் திசை வேகத்துடன் இயங்குகின்ற ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான் கொத்துகள் எனக் கருதலாம். காந்தப் புலம் இருக்கும்பொழுது சூழ் மின்னூட்ட அலைகள் ரேடியோ அலைகளைப்போல, சிக்கலான முறையில் இயங்குகின்றன.

எலக்ட்ரான் கொத்துகள் அல்லது எலக்ட்ரான் மேகங்கள் உண்டாவது ஒவ்வொன்றினூடே செல்லுகின்ற இரண்டு எலக்ட்ரான் வாயுக்கள் இருப்பதைப் பொறுத்ததாகும். மாறாக, ஓர் எலக்ட்ரான் வாயுவும் ஒரு புரோட்டான் வாயுவினூடே சென்று ஒரு மின்னூட்டத்தையும் உண்டாக்கலாம். இரண்டு எலக்ட்ரான் வாயுக்கள் நகருகின்ற ஓர் எளிய நிகழ்ச்சியை நாம் கவனிப்போம். ஒவ்வொரு வாயுவின் அடர்த்தியும் $N$ என்றும், ஒரு வாயு வலப் பக்கமாகவும், மற்றொன்று இடப் பக்கமாகவும் $v_s$ என்ற திசை வேகத்துடன் செல்வதாகவும் கொள்வோம். $v_s$ என்பது $v$-யுடன் ஒப்பிடும்பொழுது மிகவும் அதிகமாக இருக்கட்டும். இந்த இருவகை அருவி ஊடகத்தில் இருவித அலைகள் பரவலாம். ஒன்றின் திசைவேகம் $v_s$ ஐ விட அதிகமாகவும், மற்றதன் திசைவேகம் $v_s$ ஐ விடக் குறைவாகவும் இருக்கும். அதிவேகத்துடன் செல்லுகின்ற அலை ஒரு செலுத்துப் பட்டையையும். நிறுத்தும் பட்டையையும் உடைய ஓர் ஊடகத்திலுள்ள [சமன்பாடு-(3)] அலையை ஒத்திருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலை (critical) அதிர்வெண்ணிற்குக் கீழே

அலை பரவ முடியாது; ஆனால் ஊடகத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப் படுகிறது. குறைந்த வேகத்துடன் செல்லுகின்ற அலை ஒரு முற்றிலும் புதிய விளைவைக் காட்டுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர் வெண் பகுதிக்குள் உள்ள அலைகள் பரவா என்ற கருத்தில் அதில் ஒரு நிறுத்துப் பட்டை கிடையாது. ஆனால் ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளப் பகுதிக்குள் உள்ள அலைகள் பரவா என்ற கருத்தில் அதில் ஒரு நிறுத்துப் பட்டை உண்டு. மேலும் இந்த அலைகளின் நீளம் மாறுநிலை நீளம் (critical length) $\frac{v_s}{\sqrt{2 f_0}}$ ஐ விட அதிகமாக இருக்கும்.

எனவே இவை ஊடகத்தால் எதிரொளிக்கப்படாமல் ஊடகத் திலேயே தங்கி நிலையாக மேலும் மேலும் வலிவடைகின்றன. விளைவுகளைப் பகுப்பதில் அலைக் கொள்கை முக்கியமாக இருந்த போதிலும் இந்த நிலையான வளரும் அலைகள் உண்மையில் அலைகள் என்று கருதப்படவேண்டியதில்லை. சிறிதளவு எலக்ட் ரான் அடர்த்தி அதிகமாகவுடைய எந்த ஒரு பெரும் பரப்பும் அதனுடைய எல்லைக்கப்பால் இருந்து மேலும் எலக்ட்ரான்களைப் பெற்று ஒரு விரிவடைந்த எலக்ட்ரான் மேகமாக மாறுகிறது.

விரிவடைகின்ற எலக்ட்ரான் மேகத்தின் தத்துவம் அண் மையில் தான் அறியப்பட்டது என்றாலும், அது மிகமிக எளிமை யானது; சிக்கல் இல்லாதது. சுற்றுப்புறத்தை விடச் சிறிது அதிக மான அடர்த்தியையுடைய ஒரு நிலையான எலக்ட்ரான் மேகத்தி னூடே செல்லும் ஓர் எலக்ட்ரான் அருவியைக் கவனிப்போம். மேகத்தில் சிறிது அதிகமான எதிர் மின்னூட்டம் இருப்பதால் அது தன்னை நோக்கி வருகின்ற எலக்ட்ரான்களை எதிர்த்துத் தள்ளும். இந்த உபரி மின்னூட்டம் மிகக் குறைவாக இருந்தால் அருவி மேகத்தினூடே நுழைந்து செல்லக்கூடும். எலக்ட்ரான்கள் மேகத்தை நெருங்கும்பொழுது அவற்றின் வேகம் குறையும். மேகத்தைவிட்டு நீங்குகின்ற எலக்ட்ரான்கள் உந்தப்பட்டு அவற்றின் திசை வேகங்கள் அதிகரிக்கின்றன. மேகத்தின் வழியே செல்லுகின்ற வேகங் குறைக்கப்பட்ட $A$ பிரிவு எலக்ட்ரான்களைக் கவனிப்போம். இவை மேகத்தில் அதிக நேரத்தைச் செலவிடு கின்றன. இந்த நேரம், சூழ்-மின்னூட்டம் சுழியாக இருக்கும் பொழுது அவை மேகத்தில் செலவிடும் நேரத்தைவிட அதிக மாகும். மேகத்தில் அதிக நேரத்தைச் செலவழிப்பதால் அவை சூழ் மின்னூட்டத்தை அதிகரித்து, அடுத்த $B$ பிரிவு எலக்ட்ரான் களை மேலும் மெதுவாகப் போகும்படி செய்கின்றன. இதே வேலையை $B$ பிரிவு எலக்ட்ரான்கள், $A$ பிரிவைவிட அதிகமாகச் செய்து அடுத்து மெதுவாகச் செல்கின்ற $C$ பிரிவு எலக்ட்ரான்களை

இன்னும் மெதுவாகப் போகச் செய்கின்றன. இவ்வாறு மேகத்தின் அடர்த்தி தொடர்ந்து அதிகரிக்கிறது.

இதன் விளைவாக, ஊடகத்தில் ஒரு நிலையற்ற தன்மை தோன்றி சூழ் மின்னூட்ட மேகத்தில் எலக்ட்ரான் கொத்துகள் உண்டாகின்றன. மேகத்தின் பருமன் ஏறத்தாழ $\frac{v_s}{f_0}$ ஆகும். இரண்டு எலக்ட்ரான் அருவிகள் சமமான எதிர் எதிர்த் திசை வேகங்களைக் கொண்டிருக்கும் பொழுது வளருகின்ற மேகங்கள் ஓய்விலிருக்கும். ஓர் எலக்ட்ரான் அருவி மற்றதைவிட மிகக் குறைந்த அடர்த்தியைப் பெற்றிருக்கும் பொழுது மேகங்கள் குறைந்த அடர்த்தியுடன் காணப்படுகின்றன. ரேடியோ வானியலில் வளருகின்ற எலக்ட்ரான் மேகங்களின் அல்லது சூழ் மின்னூட்ட அலைகளின் முக்கியத்தைப் பிறகு பார்ப்போம்.

மேலே கூறப்பட்ட வளரும் பிளாஸ்மா மேகங்களைப் பற்றிய கோட்பாடு சிரன்கோவ் விளைவின் ஒரு பரிமாண வகையாகக் (one dimensional version) கொள்ளலாம் என்பது பொதுவாக ஒத்துக் கொள்ளப்படவில்லை. பிளாஸ்மாவின் வழியே எலக்ட்ரான் செல்லுகின்றது என்று கொள்வதை விட, ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட நிலையான எலக்ட்ரான் கூட்டங்களினூடே பிளாஸ்மா செல்கிறது எனக் கொள்வோம். சிரன்கோவ் விளைவின்படி இயங்குகின்ற சில எலக்ட்ரான்களின் திசை வேகம் குறைக்கப் பட்டு அவை ஒரு கூம்பு வடிவச் சூழ் மின்னூட்ட அலையைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இது வலிமையில் அதிகரிப்பதில்லை. ஏனெனில் இதுதான் மூலத்திலிருந்து பரவிச் சென்று விடும். இருப்பினும் இரு கோட்பாடுகளும், ஓர் எலக்ட்ரான் அருவி மற்றோர் எலக்ட்ரான் அருவியினூடே செல்லும் பொழுது அவற்றின் வேகங்கள் குறைகின்றன என்பதை எடுத்துக் கூறுகின்றன.

### கரும் பொருள் எல்லைக்கப்பால் கதிர்வீசல்

வெப்பக் கதிர் வீசல் முறையை ஜைரோக் கதிர் வீசல் அல்லது சிங்க்ரோட்ரான் கதிர் வீசல் அல்லது காந்த முடுக்கக் கதிர் வீசலோடு இப்பொழுது ஒப்பிட்டுப் பார்ப்போம். ஒவ்வொரு பிரிவிலும் எலக்ட்ரான் தான் செல்லும் திசையை மாற்றிக்கொள்ளும் பொழுது கதிர் வீசல் நடைபெறுகிறது. எலக்ட்ரான்களின் வெப்ப இயக்கம் அல்லது வெப்ப ஆற்றல் இவ்வாறு கதிர் வீசலுக்கு ஒரு முக்கியத் தேவையாகும். வீசப்படும் ஆற்றலின் அளவு எலக்ட்ரான் வாயுவின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கும். இதன் அடிப்

படையில் எல்லாக் கதிர் வீசல் முறைகளையும் வெப்பக் கதிர்வீசல் என்ற தலைப்பில் தொகுக்கலாம்.

அயனியாக்கமடைந்த வாயு, சூடாக இருப்பதுடன் கூட, கதிர் வீசுவதற்கு வேறொரு பண்பையும் பெற்றிருக்க வேண்டும். அதில் சிறிதளவு ஆற்றல் புகாத்தன்மை இருக்க வேண்டும். இல்லையேல் கிரிச்சாவ் விதிப்படி அது எவ்வளவு சூடாக இருந்த போதிலும் ஆற்றலை வெளிவிட முடியாது. இதற்கு உதாரணமாக ஒரு கண்ணாடித் தகட்டைச் சூடுபடுத்துவதைக் கொள்ளலாம். தன் வழியே அலைகள் புகுந்து செல்ல முடியுமாதலால் கண்ணாடி மிகக் குறைந்த அளவே ஒளியை வெளிவிடுகிறது. மாறாக, அது வெப்ப அலைகளை மிக அதிக அளவு வெளிவிடுகிறது. ஏனெனில் வெப்ப அலைகள் அதன் வழியே புகுந்து செல்ல முடியாது. ஒரு வாயுவில் இந்தப் பண்பு எலக்ட்ரான் முடுக்கத்தால் உண்டாக்கப் படுகிறது. நாம் பார்த்தவாறு இது, ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு கனமான அயனியுடன் மோதுவதாலோ அல்லது ஒரு காந்தப் புலத்தின் குறுக்கே ஓர் எலக்ட்ரான் இயங்குவதால் ஏற்படும் லொரண்ட்ஸ் விசையினாலோ ஏற்படலாம். ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு கனமான அயனியுடன் மோதும்பொழுது மட்டுமே கதிர் வீசலை வெப்பக் கதிர் வீசல் என்கிறோம்.

கிரிச்சாவின் விதி ஒரு பொதுவான விதியாகும். அது கதிர் வீசல் முறை உட்கவர் முறையைப்போல சம அளவு திறமையுடன் நடைபெறுகிறது என்பதைச் சுட்டுகிறது. எந்த ஒரு பொருளி லிருந்தும் வெளிவருகின்ற கதிர்வீசலுக்கு அது ஒரு கரும்பொருள் கதிர் வீசல் வரம்பை நிலைநிறுத்துகிறது. இந்த வரம்புக் கதிர் வீச்சு அயனிகளின் வெப்ப ஆற்றலை, அதாவது அவற்றின் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்திருக்கும். கதிர்விசல் முறை உண்மையான மோதலால் அல்லது காந்த முடுக்கத்தால் அல்லது சிரன்கோவ் முறையால் ஏற்படும்பொழுது இது பொருந்தும். அண்டைவெளி கதிர் வீசலுக்குக் காரணமான சில காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்கள் $10^8$ $ev$ ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன. இது $10^{12}$ டிகிரி கெல்வனில் துகள்களின் சராசரி ஆற்றலுக்கு ஒப்பாகும். எனவே அவை $10^8$ டிகிரி $K$ அல்லது அதற்கு மேலான பொலிவு வெப்ப நிலையை உண்டாக்கும் என்பது ஆச்சரியப்படத் தக்கதல்ல.

சூரிய வளிமண்டலத்தின் சுறுசுறுப்பான பகுதிகளில் பொலிவு வெப்பநிலை சில சமயங்களில் $10^{13}$ டிகிரி $K$-க்குச் செல்கிறது. அது ஒரு சமயம் $10^{15}$ டிகிரி $K$ஐயும் அடைந்தது. இந்தக் கதிர் வீசலின் நிறமாலை காந்த முடுக்கக் கதிர் வீசலுக்கு முரணாக

வுள்ளது. கரும்பொருள் வரம்பைவிட மிக அதிகமான வெப்ப நிலையில் வாயு எப்படிக் கதிர் வீச முடியும் என்பதை நம்மால் விளக்கமுடியவில்லை. ஏனெனில் நிச்சயமாக வாயு அந்த அளவு வெப்பநிலையில் இருக்க முடியாது.

சூரியனின் இந்த அதிவெப்ப நிலைக்கு விடை எளியதாகும். ஏதோ ஒரு கதிர் வீசல் முறையில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றுக்கொன்று அருகே செல்வதாகக் கொள்வோம். அவைகளின் மின்னூட்டம் ஓர் எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தைப்போல் இரு மடங்கு இருப்பதால் அவை, காந்தப்புலச் செறிவும், மின்புலச் செறிவும் இரு மடங்குள்ள ஒரு ரேடியோ அலையைத் தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே அதன் திறன் நான்கு பங்கு அதிகரிக்கிறது. $N$ எலக்ட்ரான்கள் அடங்கிய ஒரு வட்டம் $N^2$ மடங்கு திறனைக் கொடுக்கும். எனவே ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் அதில் தனியே கொடுக்கும் ஆற்றலைப்போல $N$ மடங்கு ஆற்றலைக் கொடுக்கும். முழு எலக்ட்ரான் வட்டமும் $N$ எலக்ட்ரான்கள் அடங்கிய கொத்துகளாகப் பிரிக்கப்பட்டால் அது கரும்பொருள் வரம்பைப்போல் $N$ மடங்கு கதிர் வீசல் செறிவைக் கொடுக்கும். மேலே கூறப்பட்ட பல்வேறு கதிர் வீசல் முறைகளில் எந்த முறை இந்த விளைவைக் கொடுக்கும் என்பதை இப்பொழுது பார்ப்போம்.

காந்த முடுக்க முறையில் எலக்ட்ரான்கள் காந்த விசைக் கோடுகளைச் சுற்றிப் பெரிய வட்டங்களில் நகர்கின்றன. ஓர் எலக்ட்ரான் கொத்து ஏன் ஒரே மாதிரியாக ஒரு வட்டத்தில் இயங்கக் கூடாது என்பதற்குக் காரணங்கள் இல்லை. ஆனல் எலக்ட்ரான்கள் கொத்துக் கொத்தாகச் சேர்வதற்குக் காரணங்கள் முன்பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டன. இது மாதிரி சிரன்கோவ் முறையிலும் எலக்ட்ரான்கள் கொத்து நிகழக்கூடியது. இருந்த போதிலும் நெருங்கிய மோதல் முறையில் அது நிகழக்கூடியது அல்ல.

மேலே இரண்டு பத்திகளில் சொல்லப்பட்ட கருத்துகளைக் குவாண்டம் மின்னியக்கவியலைக் (Electrodynamics) கொண்டு கணித முறையில் பெறலாம். ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானிலும் உபரிக் கதிர் வீசல், தட்டி எழுப்பப்பட்டக் கதிர் வீசல் (stimulated) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இத்தகைய கருத்து தேவையற்ற ஒன்ருகும். ஏனெனில் இதற்கு விடை பழைய கோட்பாட்டின் (classical theory) அடிப்படையில் எளிதாகப் பெறப்படும்.

கரும்பொருள் வரம்பிற்கப்பால் நிகழ்கின்ற கதிர் வீசலுக்கு ஓர் உதாரணமாக ரேடியோ பரப்பி ஏரியலில் ஏற்படும் கதிர் வீசலைக்

கூறலாம். இங்கு எலக்ட்ரான் கூட்டங்கள் ஏரியல் உள்ளேயும் வெளியேயும் திணிக்கப்படுகின்றன. எனவே அது இணைமாற்று வெப்ப நிலைகளில், அதாவது பில்லியன் பில்லியன் டிகிரிகளில் கதிர் வீசுகிறது. ஆனால் அதன் உண்மையான வெப்ப நிலை ஒரு சில நூறு டிகிரிகளேயாகும்.

வேறொரு உதாரணமும் சூரியக் கதிர் வீசலின் செறிவு மிகுந்த வெடிப்புகளை விளக்கலாம். அது எலக்ட்ரான் மேகங்களின் வளர்ச்சியைப் பொறுத்தது. இந்தப் பரிமாணங்கள் தோராயமாக,

$$l = \frac{v_s}{f_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. இங்கு $v_s$ என்பது அருவித் திசை வேகமாகும். கொந்தளிப்பு ஊடகத்தில் எண்ணிறந்த மேகங்கள் உண்டாக வேண்டும். இவை பல்வேறு திசை வேகங்களுடன் இயங்கக் கூடும். அதற்குத் தனிப்பட்ட அயனிகளில் வெப்ப இயக்கத்தை உதாரணமாகக் கூறலாம். இம் மேகங்களின் திசை வேகம் அருவித் திசை வேகமான $v_s$ அளவு இருக்கும். எனவே இரண்டு மேகங்கள் ஒன்றோடொன்று $\frac{l}{v_s}$ நேரத்தில் மோதிக் கொள்ளும். அப்பொழுது ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தியாகும். அந்த அலைகளின் அதிர்வெண் $\frac{v_s}{l}$ ஆகும். சமன்பாடு 13-லிருந்து பதிலீடு செய்யும் பொழுது ரேடியோ அலையின் அதிர்வெண்,

$$f = f_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

என்றாகிறது. $f_0$ என்பது பிளாஸ்மா அதிர்வெண் என்று முன்னரே கூறினோம்.

தனிப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றலை விட எலக்ட்ரான் மேகங்களின் இயக்க ஆற்றல் மிக அதிகமாக இருக்குமாதலால் கதிர் வீசல் கரும் பொருளின் கதிர் வீசலை விட அதிகமாக இருக்கும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Radio Astronomy — *By J. H. Piddington.*
2. Space Science — *By Higginbothams (P) Ltd.*

# 6. அயன மண்டலம்

## (Ionosphere)

பூமியின் வளி மண்டலத்தால் ஒளியியல் வானியலில் தோன்று கின்ற குறைபாடுகள் யாவரும் அறிந்ததே. ரேடியோ வானியல், ராடார் வானியல் இரண்டிலும் அயனியாக்கம் அடையாத வளி மண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதி சில விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றது. மேலும் பல நேரங்களில் பூமியின் அயன மண்டலமும் சில விளைவு களைத் தோற்றுவிக்கின்றது. ராடார் வானியலில் சைகைகள் பூமியின் வளி மண்டலத்தையும், அயன மண்டலத்தையும் இரு தடவைகள் கடந்து செல்லவேண்டும். எனவே, தூரம் அதிர்வெண் ஆகியவற்றைப் பொறுத்த அளவீடுகளை நாம் துல்லியமாக அளக்க நேரிடும். இந்த இடையூறு ரேடியோ வானியலில் இல்லை. ஆகவே ரேடியோ வானியலைப் பற்றிக் கூறும்பொழுது இந்த விளைவுகளைப் பற்றி முழுவதுமாகக் கூறுவதில்லை. ஆனால் ராடார் வானியலில் இவை முழுவதுமாகக் கூறப்படவேண்டும்.

விண்வெளிப் பொருட்களை பூமியின் வளிமண்டலத்தின் வழியாக மூன்று முக்கியப் பகுதிகள் மூலம் ஆராய முடியும். ஒரு பகுதி நமது கண்ணிற்கு நன்றாகப் பழக்கப்பட்ட புலனாகும் கருவியில் உள்ளது. இந்த நூற்றாண்டில் அகச் சிவப்பு, ரேடியோ நுண்ணுணர்வுக் கருவிகள் கண்டுபிடிக்கப்படும் வரையில் இந்த கட்புலனாகும் பகுதி வழியே மட்டும் அண்டத்தில் உள்ள பொருட்கள் ஆராயப்பட்டன. ரேடியோப் பகுதிமூலம் 20 மீட்டரி லிருந்து ஒருசில மில்லிமீட்டர்கள் வரையில் நீளமான அலைகள் செலுத்தப்பட்டன. நீண்ட அலைப்பகுதி பூமியின் அயன மண்ட லத்தால் வரையறுக்கப்பட்டது. சில மாறுநிலை அதிர்வெண் களுக்குக் கீழே அதிர்வெண்ணுடைய அலைகளை இந்த அயன மண்டலம் எதிரொலித்துவிடும். இந்த மாறு நிலை அதிர்வெண்ணின் மதிப்பு, சூரியப்புள்ளி சுழற்சி, ஒரு நாளின் நேரம், அட்சரேகை ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது. உச்சவரம்பு, அயனியாக்கம் அடை

யாத வளிமண்டலத்தின் உட்கவர்தலால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இந்த உட்கவர்தலுக்கு நீராவி. ஆக்ஸிஜன் ஆகியவற்றின் மூலக் கூறுகள் காரணமாகும். ரேடியோப் பகுதி முழுவதும் வளி மண்டல, அயன மண்டல விளைவுகள் குறைந்த அளவிலாவது எப்பொழுதும் இருந்துகொண்டே இருக்கின்றன.

இப்பகுதி இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. முதற் பகுதியில் பூமியின் வளிமண்டலத்தால் ஏற்படுகின்ற விளைவுகளும் இரண்டாவது பகுதியில் அயன மண்டலம், கோள்களுக்கிடையே உள்ள பிளாஸ்மா ஆகியவற்ருல் உண்டாகின்ற விளைவுகளும் கூறப்பட்டுள்ளன. முதற்பகுதியில் வளிமண்டல உட்கவர்தல், விலகல் ஆகியவை விவரிக்கப் பட்டுள்ளன. உட்கவர்தல் ஏறத்தாழ 1000 மெகா சுற்று/விஞடி-ல் கணிசமான விளைவுகளை ஏற்படுத்துவதாகக் கொள்ளலாம். இந்த அதிர்வெண்ணிற்குக் கீழே அது கடுமையான விளைவுகளைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. மேலும் வளிமண்டல உட்கவர்தலிஞல் ஏற்பி அணியில் ஏற்படுகின்ற செயலுறு வெப்பநிலை அதிகரிப்பையும் விவரிக்கிருேம். இரண்டாவது பகுதியில் அயன மண்டலமும், ரேடியோ அலைப் பரப்பலில் அது உண்டாக்கும் முக்கிய விளைவுகளும் விவரிக்கப் படுகின்றன. இவை பெரும்பாலும் 1000 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-க்குக் குறைவான அதிர்வெண்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளைப் பாதிக்கின்றன என்று சொல்லலாம். எந்த ஒரு ராடார் வானியல் சோதனையிலும் வளிமண்டலம் அயன மண்டலம் ஆகியவற்றின் விளைவுகளைக் கணக்கிடுவது சாலச் சிறந்ததாகும். ஏனெனில் இவை சோதனையின் முடிவுகளைப் பாதித்துள்ளனவா என்று தெரிந்துகொள்வது அவசியம்.

**பூமியின் வளிமண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதி (Earth's lower atmosphere)**

எளிதில் புரிந்து கொள்வதற்காகப் பூமியின் வளிமண்டலக் கீழ்ப்பகுதி ட்ரோப்பாஸ்பியர், ஸ்ட்ரேட்டாஸ்பியர் என இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. ட்ரோப்பாஸ்பியர் பூமியின் பரப்பிலிருந்து 10 கி. மீட்டர்கள் வரைப் பரவியுள்ளது. உயர்ந்த அட்சரேகைப் பகுதிகளில் 7 கி. மீட்டரிலிருந்து பூமியின் நடுவரைக் கோட்டில் 18 கி. மீட்டர்கள் வரை இந்த ட்ரோப்பாஸ்பியர் மாறக் கூடும். ட்ரோப்பாஸ்பியர் முழுவதும் சராசரி வெப்பநிலை உயரத்துடன் நேர்முறையில் குறைகின்றது. பூமியின் பரப்புக்கருகே 290 டிகிரி *K*-லிருந்து உயரே செல்லச்செல்ல 220 டிகிரி *K*-வரைக் குறைகிறது. 220 டிகிரி *K*-உள்ள பகுதிக்கு ட்ரோப்போபாஸ் (tropopause) என்பது பெயர். ட்ரோப்போபாஸுக்கு மேலே

30 கி. மீ. வரை சராசரி வெப்பநிலை ஏறக்குறைய மாறுமலே உள்ளது. 10 கி. மீ.-லிருந்து 30 கி. மீ. வரையில் உள்ள பகுதி ஸ்ட்ரேட்டாஸ்பியர் என அழைக்கப்படுகிறது. இதற்குப் பிறகு 50 கி. மீ. வரை வெப்பநிலை மீண்டும் உயருகிறது. வெப்பநிலை பெருமமாக உள்ள பகுதி ஸ்ட்ரேட்டோபாஸ் (Stratopause) என்று அழைக்கப்படுகின்றது.

ட்ரோப்பாஸ்பியர், ஸ்ட்ரேட்டாஸ்பியர் முழுவதும் சராசரித் தனி அழுத்தம் (mean obsolute pressure) உயரத்துடன் ஏறத்தாழ அடுக்குக்குறி (exponential) முறையில் குறைகிறது. அதன் மதிப்பு ட்ரோப்போபாஸ் பகுதியில் பூமியின் மட்டத்தில் உள்ள பகுதியின் மதிப்பில் $\frac{1}{4}$ அளவே உள்ளது. சராசரி நீர்த்திவலைகள் அளவு $\rho$-ம் தரைமட்டத்திலிருந்து மேலே செல்லச் செல்ல வெகுவாகக் குறைகிறது. இந்த நீர்த்திவலையின் அளவு ட்ரோப்பாஸ்பியருக்கு மேல் மிகமிகக் குறைகிறது. வளிமண்டல அழுத்த வேறுபாட்டைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$\frac{P}{P_0} = \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

இங்கு $a \simeq 7$ கி. மீ.

மேலும் $$\frac{\rho}{\rho_0} = \exp\left(-\frac{h}{b}\right) \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இங்கு $b \simeq 2$ கி. மீ.

இச்சமன்பாடுகளில் '$h$' என்பது கி. மீட்டரில் உயரத்தைக் குறிக்கும்.

குளிர்வடையாத நீராவியைத் தவிர, மற்ற அதிக அளவில் உள்ள வாயுக்களின் அடர்த்தி ஏறத்தாழ 20 கி. மீ. உயரம் வரை மாறுமல் உள்ளது. இதற்குமேல் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை குறைந்து ஓசோன் (ozone) தோன்ற ஆரம்பிக்கின்றது.

மேலே கூறப்பட்டவை உண்மையில் பண்பியல் அடிப்படையில் (qualitatively) கூறப்பட்டவை ஆகும். தனி அழுத்தம், பகுதி நீராவி அழுத்தம் (partial water vapour pressure), வெப்பநிலை ஆகியவை, காலம், இடம், உயரம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மாறுகின்றன. குறுகிய தூரங்களிலும், காலங்களிலும் இத்தகைய

மாறுபாடுகள் அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன. மேலும் வளி மண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதி பெரும்பாலும் மேகம், மூடு பனித்துளிகள் (fog droplets), மழைத்துளிகள், பனி, மழைக்கற்கள் (hails) ஆகியவை நிறைந்துள்ளன. இந்த வளி மண்டலத்தில் நிறைந்துள்ள பொருட்களின் நிகழ்தல், செறிவு, அளவு ஆகியவற்றைப் பொதுவாகத் தோராய முறையிலும், புள்ளி விவர முறையிலுமே கூற முடியும். இந்த மாறுபாடுகள் எல்லாம் பூமியின் வளிமண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் ரேடியோ அலைப்பரவலைப் பாதிக்கின்றன.

**ரேடியோ அலை விலகல்** (Radio wave refraction)

பூமியின் வளிமண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் அதிகமான அளவுள்ள நடுநிலை வாயுக்களால் ஏற்படும் விலகல், வாயுக் கலவையின் தெரியியல் பண்புகளுடன் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பொருந்துகின்றது.

$$N = (n-1)\ 10^6 = 77{\cdot}6\frac{P}{T} + 3{\cdot}73\times10^5\,\frac{e}{T^2} \quad \ldots \quad (3)$$

இங்கு, $N$ = விலகல்.

$n$ = விலகல் எண்.

$P$ = மில்லி பார்களில் வளிமண்டலத்தின் தனி அழுத்தம்

$e$ = மில்லி பார்களில் நீராவி அழுத்தம்.

$T$ = தனி வெப்பநிலை (டிகிரி கெல்வினில்).

பூமியின் தரைப்பகுதியில் விலகலெண், வெற்றிடத்திற்கான மதிப்பு ஒன்றிலிருந்து ஒரு மில்லியனின் 300 முதல் 400 பகுதி வரை மாறுகின்றது. செ. மீ., மி. மீ. அலைப்பகுதிகள் முழுவதும் இது சிறிதுகூட அதிர்வெண்ணைச் சார்ந்திருப்பது இல்லை. சமன்பாடு (3)-லிருந்து, பூமியின் வளிமண்டலக் கீழ்ப்பகுதியின் விலகலில் குளிர்ச்சி அடையாத நீராவியின் விளைவு தெரிகின்றது. சராசரி நீர்த்திவலைச் செறிவு உயரத்துடன் குறைவதைப்போல விலகலும் குறைகின்றது. ஸ்ட்ரேட்டாஸ்பியரின் கீழ்ப்பகுதியில் $N$, ஒன்றின் மதிப்பை நெருங்குகின்றது. மேலும் நீர்த் திவலையின் செறிவு தனி அலகிலும், உயரத்தின் சார்பலனாகவும் காலத்துடன் குறிப்பிடத்தக்க அளவு மாறுபடுகின்றது. இதே முறையில் விலகலும் மாறுபடுகின்றது. இந்த விலகல் மாறுபாடுகள் ட்ரோப்பாஸ்பியரில், குறிப்பாக மிகக் குறைந்த உயரங்களில், கிடைமட்டக் கதிர்ப்பாதைகளுக்கு ரேடியோ அலைகள் பரப்பலில்

மிக அதிகமான விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்த விளைவுகளைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் பொதுவாய் இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன: அவை. ஒன்று, விலகலின் சராசரி மதிப்புடன் இணைந்துள்ள மாறுநிலை விளைவுகள் (steady state influences); மற்றொன்று சராசரியிலிருந்து மாறுபடும் விளைவுகள் ஆகும்.

சராசரி விலகல் உயரத்துடன் அடுக்குக் குறி அமைப்பில் குறைகிறது என்ற உண்மையிலிருந்து கோண இருப்பிடம் அல்லது தொலைவுத் திசைவேகம் (distant velocity) ரேடியோ அலைகளைக் கொண்டு சரியாக அளக்கப்படுவதற்குப் பொருத்தமான பிழைத் திருத்தங்களைச் செய்ய வேண்டும். காட்டாக, 500 மைல்களுக்கு அப்பாலும், சுழி டிகிரி ஏற்றக் கோணத்திலும் ~ 350 விலகலிலும் உள்ள ஒரு பொருளின் தூரத்தை அளப்பதற்கு, கிட்டத்தட்ட 350 அடி பிழைத் திருத்தம் செய்ய நேரிடும். தள விலகல் எண் மிக அதிகமாக இருக்கும்பொழுது இந்தத் திருத்தம் 600 அடி வரையில்கூட இருக்கும். ஏற்றக் கோணம் 3 டிகிரியாக இருக்கும் பொழுது இத்திருத்தம் 100 அடிக்குக் குறைகிறது.

தள விலகலும் ஏற்றக் கோணமும் ஒரே மாதிரி இருக்கும்பொழுது மேலே சொல்லப்பட்ட மூன்று நிலைகளுக்கும் ஏற்றக் கோணத்திற்குச் செய்யப்படவேண்டிய முதல்நிலைத் திருத்தங்கள் முறையே ~ 17 மில்லி ரேடியன்கள், ~ 32 மில்லி ரேடியன்கள், ~ 5 மில்லி ரேடியன்களாக இருக்கும்.

இவைகளிலிருந்து தூரங்களை மிகத் துல்லியமாக அளக்கும் பொழுது மட்டும் விலகலுக்குத் திருத்தம் செய்யப்படவேண்டும்; ஏற்றக்கோணங்களுக்கும் திருத்தம் வேண்டும் என்று அறிகிறோம்.

விலகலெண்ணின் தளமதிப்பும், உயரத்தைப் பொறுத்து அது மாறுபடுகின்ற வீதமும், இருப்பிடம், பருவகாலம், பகல், இரவு நேரங்கள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து மாறுபடுகின்றன. விலகல் எண்ணில் மெதுவாக ஏற்படுகின்ற இந்த மாறுதலுடன் வளி மண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதி சீரற்று இருப்பதனாலும் சில மாறுபாடுகள் தோன்றுகின்றன. இதனாலும், மின்பாதை (electrical path) நீளங்களிலும், அவை வந்து சேருகின்ற கதிர்க்கோணங்களிலும் (ray angles) சில குறுகிய கால மாறுதல்கள் தோன்றுகின்றன. ௫ டிகிரி கோணத்தில் சுமார் 10 மைல்கள் நீளமுள்ள பாதையில் 1000 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி அதிர்வெண்ணில் இந்த மாறுபாடு 5 மின்சார டிகிரி (electrical degree) யாக உள்ளது. 3 செ. மீ. அலைநீளத்தில் ஒப்புமைக் கட்டத்தை (relative phase) அளப்ப

தற்கு இரு ஆன்டென்னுக்கள் ஒன்றுக்கொன்று 500 அடி தூரத்தில் ஒரே பாதையில் வைக்கப்படுகின்றன. 10-லிருந்து 100 விநாடி நேரத்தில் 40 மின்சார டிகிரிகள் வரை காணப் படுகின்றன. ஒரு விநாடி நேரத்தில் 3 செ. மீ. அலையைப் பயன் படுத்தியபொழுது 0·1 மில்லி ரேடியன் விலக்கம் காணப்பட்டது.

மேலே கூறப்பட்டவைகளிலிருந்து விலகல் எண்ணிற்குத் திருத்தங்கள் கொடுத்தபொழுதும் அதில் சிறுசிறு மாறுதல்கள் தோன்றிக்கொண்டே இருக்கின்றன. மேலும் ஏற்றக் கோணம் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது வடக்கு அரைக் கோளத்தில் (northern hemisphere) சில பகுதிகளில் ஏற்றக் கோணங்களை அளப்பது கடினமாக உள்ளது. அவற்றில் சில மில்லி ரேடியன்கள் வரை பிழை ஏற்படுகிறது.

ரேடியோ அலைகள் செல்லும் பாதையில் உள்ள மேகங்கள் திடப் பொருள் துகள்கள் ஆகியவை இந்த விலகல் விளைவுகளை எந்த அளவிற்குப் பாதிக்கின்றன என்பது இன்னும் சரியாகத் தெரியவில்லை. ஆனால் மேகங்களால் உண்டாக்கப்படும் விளைவுகள் முக்கியமாகக் கவனிக்கப்பட வேண்டியனவாகும். குறுகிய ரேடியோ அலைகள், கனமான மழை ஆகியவற்றின் கூட்டு விளைவுகள் பொதுவாகத் தள ரேடியோ அலை முகப்புகளைப் பாதிக்கும்.

10 டிகிரிக்கும் குறைவான ஏற்றக் கோணங்களில் அலைகள் பரவும்பொழுது மங்குதல் (fading) உண்டாகிறது. காற்றில் பல தடவை அலைகள் செல்லுவதாலும், நேரான அலைகள், பரப்பால் எதிரொலிக்கப்பட்ட அலைகள் ஆகியவற்றிற்கிடையே குறுக்கீடு விளைவுகள் (interference) ஏற்படுவதாலும் இந்த மங்குதல் உண்டா கின்றது. 5 டிகிரிக்கும் கீழே அந்த மங்குதலின் ஆழம் கோணம் குறையக்குறைய விரைவாக அதிகரிக்கின்றது.

இறுதியாக விலகல் எண் சரிவில் ஏற்படுகின்ற வாட்டம் (gradient), உயர்த்தப்பட்ட அடுக்குகள், கொந்தளிப்பு மாறு தல்கள் (terbulent) ஆகியவை, ரேடியோ அலைகளை இயல்பான ரேடியோ அடிவானத்திற்கப்பால் செல்லுமாறு செய்கின்றன. எனவே நுட்பம் வாய்ந்த ராடார் வானியல் ஏற்பிகளை, முடிந்த பொழுதெல்லாம் ஆற்றலை வெளியேற்றுகின்ற ரேடியோ அடுக்க மூலங்களிலிருந்து வெகு தூரத்தில் வைக்கவேண்டும். இத் தூரம் ஏறக்குறைய 50—100 மைல்கள் வரை இருக்கவேண்டும்.

**வளிமண்டல வாயுக்களில் ரேடியோ அலைகள் உட்கவர்தல்**

செ. மீ., மி. மீ. அலைநீளப் பகுதிகளில் ரேடியோ அலைப் பரப்பலை, நடுநிலை ஆக்ஸிஜன், குளிர்ச்சி அடையாத நீராவி ஆகியவற்றின் மூலக்கூறுகளின் ஒத்தியைவுக் கவர்தல் முக்கிய மாகவும் தொடர்ச்சியாகவும் உள்ள பண்புகளாகும். நைட்ரஜன் மூலக்கூறுக்கு நிலையான இருமுனைத் திருப்புத்திறன் இல்லை. ஆகவே அது நீள அலைநீளப் பகுதிகளில் தொழிற்படுவதில்லை. ஒரு மி. மீட்டருக்கும் குறைவான அலைநீளத்தில் $CO_2$-ன் சுழற்சி அடிப் படை அதிர்வெண் நிகழ்கின்றது. ஆகவே அதுவும் நீண்ட அலை நீளங்களில் பரப்பலைப் பாதிப்பதில்லை. வெள்ளியின் வளிமண்டலத் தில் $CO_2$-ஹல் உட்கவரப்படும் அளவிற்கு வளிமண்டல அழுத் தங்கள் இருக்கலாம். எனவே செ. மீ. அலைநீளங்களில் இது முக்கியமானதாகும். ஆனால் வெள்ளியின் வளிமண்டல அழுத்தம் நிலையற்று இருப்பதால் இதில் உட்கவர்தலைக் கணக்கிடத் துணிவது அவ்வளவு உசிதமல்ல. பூமியின் வளிமண்டலத்தில் ரேடியோ அலைப்பட்டையில் $N_2O$, $O_3$ ஆகியவற்றின் கோடுகள் உள்ளன. இவற்றின் மூலக்கூறு அமைப்பின் செறிவு மிகவும் குறைவாக உள்ளது. எனவே இவற்றினுல் உட்கவர்தல் $H_2O$-$O_2$ சூழ்நிலையில் உட்கவரப்படும் ஆற்றலுடன் ஒப்பிடப்படும்பொழுது மிகவும் குறைவாகும். $H_2O$, $(HDO, D_2O)$ $O_2$ $(O_2{}^{17}, O_2{}^{18})$ ஆகிய வற்றின் ஐசடோப்புகள் மிகக் குறைவாக இருப்பதால் இவற்றின் விளைவுகளை ஒதுக்கிவிடலாம்.

வளி மண்டத்தில் 21% வரையில் நடுநிலை ஆக்ஸிஜன் மூலக் கூறுகள் உள்ளன. இதே விழுக்காடு ஸ்ட்ரேட்டாஸ்பியரில் பெரும் பகுதி வரை உள்ளது. மாருக, பரப்பில் உள்ள நீராவிச் செறிவு உயரத்துடன் பெருமளவு மாறுபடுகின்றது. கணக்கீடுகளுக்காக, அட்சரேகைகளின் நடுப்பகுதிகளில் நீராவியின் அடர்த்தி ஒரு விழுக்காடாக (~ 7·5 கிராம்/செ $^3$மீ.) எடுத்துக்கொள்ளப்படு கிறது. மேலே செல்லச் செல்ல நீராவியின் அடர்த்தி வெகுவாகக் குறைகிறது.

நீராவி மூலக்கூறுக்கு நிலையான இருமுனைத் திருப்புத்திறன் (dipole moment) உண்டு; மேலும் மிக நெருங்கிய சுழற்சி ஆற்றல் மட்டங்களும் உண்டு. எனவே செ. மீ., மி. மீ. அலைநீளங்களில் பல உட்கவர் கோடுகள் காணப்படுகின்றன. 1 மி. மீ.-க்கு அதிகமான அலைநீளத்தில் இரண்டு கோடுகள் சிறந்து காணப் படுகின்றன. ஒன்று 13·5 மி. மீட்டரிலும், மற்றொன்று 1·63 மி. மீட்டரிலும் காணப்படுகின்றன. ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு மின் னியல் முறைப்படி துருவ வினைவற்றிருந்தும் (non polor),

பராகாந்தவியல் (paramagnetic) பண்புடையது. அதனுடைய பராகாந்தவியல் இருமுனைத் திருப்புத் திறன்படுபுலத்துடன் தொழிற்பட்டு உட்கவர்தலைத் தோற்றுவிக்கிறது. அடி எலக்ட்ரானிக் நிலைகளில் (ground electronic state) மிக நெருங்கிய சுழற்சி மட்டங்களிடையே ஆக்ஸிஜன் பெயர்ச்சி நிகழ்கிறது. 5 மி. மீ. பகுதியில் ஒன்றோடொன்று பின்னப்பட்டும், மிக நெருங்கியதுமான இரண்டு உட்கவர்தல் கோட்டுத் தொடர்ச்சிகள் காணப்படுகின்றன. $\lambda = \propto$ பகுதியிலும் 2·52 மி. மீ. பகுதியிலும் தனிக் கோடுகள் காணப்படுகின்றன. மற்றவைகள் 1 மி. மீட்டருக்கும் குறைவான பகுதிகளில் அதாவது 369. 425, 487 $Gc/s$ கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் முன்கூட்டியே அறியப்பட்டன.

குறிப்பிட்ட ஒத்தியைவு அதிர்வெண்களில் உட்கவர்தல் நிகழ்வதாக நாம் பொதுவாகக் கூறும்பொழுது இந்த முக்கியமான வளிமண்டல உட்கவர்தல் கோடுகள் மைக்ரோ – அலை ஆற்றல் – மாலையின் பெரும்பாலான பகுதியில் காணப்படுகின்றன. இது கடல் மட்டப் பகுதியிலுள்ள செறிவு, வெப்பநிலை அழுத்தம் ஆகியவற்றிற்குப் பொருந்தும். ஒரு வாயுவில், இந்த நிலைகளில் மூலக்கூறுகளின் மோதல்களுக்கிடையே உள்ள நேரம் ஏறத்தாழ $10^{-10}$ விநாடிகளாகும். மைக்ரோ அலைக்கதிர் வீசலின் நேரமும் ஏறத்தாழ இதே அளவினதாகையால், ஒரு மூலக்கூறில் உட்கவர்தல் (அல்லது கதிர்வீசல்) ஒரு சில நேரத்திற்கே இருக்க முடியும். ஆகவே இதனுடன் சேர்ந்த கோட்டகலம் (line width) அதாவது ஆற்றல் மாலை ஒத்தியைவு அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து அகலமாகிறது. செ. மீ. — மி. மீ. மோதலில் அகலமாக்கப்பட்ட கோட்டின் உட்கவர்தல் எண்ணோடு அதிர்வெண்ணின் சார்புத் தன்மை படம் 6·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

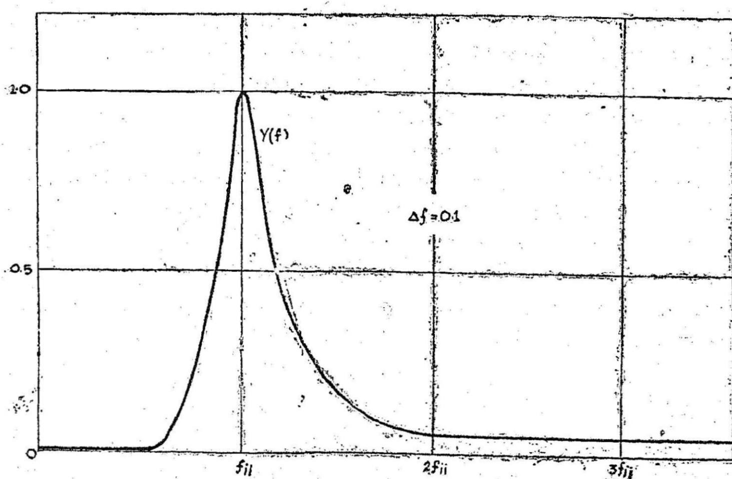
$$\gamma(f) \propto f^2 \left[ \frac{\Delta f}{(f_{ij} - f)^2 + \Delta f^2} + \frac{\Delta f}{(f_{ij} + f)^2 + \Delta f^2} \right] \quad \cdots (4)$$

இங்கு $\gamma(f)$ = உட்கவர்தல் (டெசிபல்களில்/ஓரலகு தூரம்)

$f$ = கொடுக்கப்பட்ட அதிர்வெண்.

$f_{ij}$ = $i$; $j$ ஆற்றல் மட்டங்களுக்கிடையே ஒத்தியைவு அதிர்வெண்.

$\Delta f$ = அரைச்செறிவு அரை அகலம்.




படம் 6·1.

மோதலால் அதிகமான மைக்ரோ அலை, உட்கவர் கோட்டின் பொது உருவம்

ஒத்தியைவு அதிர்வெண்ணிலிருந்து உட்கவர்தல் அகலமடைவதால் வளிமண்டல உட்கவர்தல் எண் செ. மீ.—மி. மீ. பகுதியில் எந்த இடத்திலும் சுழியாவதில்லை.

அதிர்வெண் பகுதி முழுவதும் வளிமண்டலப் பண்புகளின் மேல் உட்கவர்தல் எண் சார்ந்துள்ள முறைகள் மிகவும் சிக்கலானவை. ஒரு விழுக்காடு அல்லது அதற்கும் குறைவான பகுதி அழுத்தங்கள் $\gamma(f)$ பகுதி அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஒத்தியைவு அதிர்வெண்ணில் உட்கவர்தல் எண் தனி அழுத்தத்தைச் சார்ந்திராது. ஆனால், கோட்டின் இறக்கைப் பகுதிகளில் அழுத்தத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். வெப்பநிலையை எடுத்துக் கொள்ளும்பொழுது ஒத்தியைவு $\gamma(f)$, $T^{-3} C^{-\epsilon/T}$ க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. இங்கு $\epsilon$ என்பது பெயர்ச்சியில் சம்பந்தப்பட்ட இரு நிலைகளில் கீழ் மட்டத்தின் ஆற்றலைக் குறிக்கும். ஒத்தியைவிலிருந்து வெகுதூரத்தில் $\gamma(f)$ ஆனது $T^{-4} e^{-\epsilon/T}$-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இந்த சிக்கலான தன்மைகளின் விளைவாக வெவ்வேறு உயரங்களில் உட்கவர்தல் எண்களைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடுவது சிக்கல் நிறைந்த ஒன்றாகும். ஏனெனில், தனி, பகுதி அழுத்தங்களும், வெப்ப நிலைகளும் உயரத்துடன் மாறுபடுகின்றன. ஆகவே ரேடியோ அலையின் பாதையில் பூமியின் பரப்பிலிருந்து வான

மண்டலத்தின் உச்சி வரை தொகுனியாக்கப்பட்ட உட்கவர்தல் எண்ணைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடுவதும் கடினமானதாகும். கீழ்க்கண்ட கருத்துகள் கவனத்தில் கொள்ளத்தக்கன.

(அ) நீராவியின் செறிவு உயரத்துடன் வெகுவாகக் குறைவதைப் போல, 13·5 மி. மீ., 1·63 மி. மீ. கோடுகளின் அருகே உட்கவர்தல் எண்ணும் குறைகிறது. தனி அழுத்தத்தில் ஏற்படும் குறைவினால் இந்தக் கோடுகள் மிகவும் கூர்மையாக உள்ளன. அகச்சிவப்பு பெயர்ச்சிகளின் குறையடுக்க இறக்கைகளிலிருந்து உண்டாகின்ற சூழ்நிலை உட்கவர்தல் வெகுவாகக் குறைகின்றது. ஏனெனில் அது நீராவியின் பகுதி அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதுடன்கூட மொத்த அழுத்தத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

(ஆ) 5 மி. மீட்டருக்கருகே வெகு உயரங்களில் உள்ள மிகக் குறைந்த ஆவி அழுத்தங்களில் ஆக்ஸிஜன் ஒத்தியைவு தன்னுடைய உள் அமைப்பைக் காட்ட ஆரம்பிக்கின்றது. ஒவ்வொரு கோடும் குறுகி, மிகவும் செறிவுள்ளதாகக் காணப்படுகிறது. நீண்ட அலைநீள ஒத்தியைவற்ற உட்கவர்தல் விரைவாகக் குறைகின்றது.

(இ) $\gamma(f)$-ன் மதிப்பு உயரத்துடன் விரைவாகக் குறைவதால் முக்கியமான பெயர்ச்சி அதிர்வெண்களிலிருந்து அரை அகலப் பகுதிகளுக்குப்பால் மொத்தச் செங்குத்து உட்கவர்தல் அவ்வளவு அதிகமாக இல்லை.

மைக்ரோ அலை ஆற்றல் மாலை முழுவதும் வளிமண்டல வாயுக்களின் உட்கவர்தல், திரும்பக் கதிர்வீசல் (re-radiated) பண்புகளால் ஆன்டென்ருக்கள் ஒரு முழுமையாகக் குளிர்ச்சி அடைந்த ஆகாயத்தை நோக்குவது இல்லை எனக் கொள்ளலாம். அவைகளின் செயலுறு வெப்பநிலை சிறிதளவு, ஆனல் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளக்கூடிய அளவு உயருகிறது உண்மையில் இந்த வெப்ப நிலைகளின் உயர்வு ~ 500 — 50000 மெகா சுற்றுகள் / விருடி வரையில் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது இவற்றின் முடிவுகள் சோதனையின் மூலமும் நிருபிக்கப்பட்டுள்ளன.

ராடார் வானியலின் முடிவுகள் மிகவும் முக்கியமானவையாகும். ஆக்ஸிஜன், நீராவி ஒத்தியைவுப் பகுதிகளில் வளிமண்டல வாயுக்களின் உட்கவர்தல் 13·5, 5·0, 2·5, 1·6 மி. மீட்டர் பகுதிகளில் ரேடியோ அலைப்பாதை இழப்பைக் கணிசமான அளவு

அதிகரிக்கின்றது. மேலும் இன்னும் குறுகிய மி. மீ., மி. மீட்டரின் கீழ்ப்பகுதி ஆகியவற்றில் நீராவி உட்கவர்தல் முக்கியமாகிறது. மேலும் மீட்டர், செ. மீட்டர், மி. மீட்டர் பகுதி முழுவதிலும் ஏற்பி ஆன்டென்ஞக் கூட்டமைப்பின் நுட்பம் சூழ்ந்துள்ள வளி மண்டலத்தின் செயலுறு வெப்பநிலையால் அடிப்படை அளவில் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. இந்த விளைவுகளை ஆக்ஸிஜன், நீராவி ஆகியவற்றின் பெயர்ச்சி அதிர்வெண்களுக்குப் புறம்பான அதிர்வெண்களைக்கொண்டு அளவீடுகளை எடுத்து நீக்கலாம். இதற்கு ராடார் வானியல் அளவீடுகளைச் சுமார் 50,000 அடிகளுக்கு அப்பால் எடுக்க வேண்டும்.

### மழை, மூடுபனி, மேகங்கள் ஆகியவற்ருல் ரேடியோ அலைகளின் உட்கவர்தலும் சிதறலும்

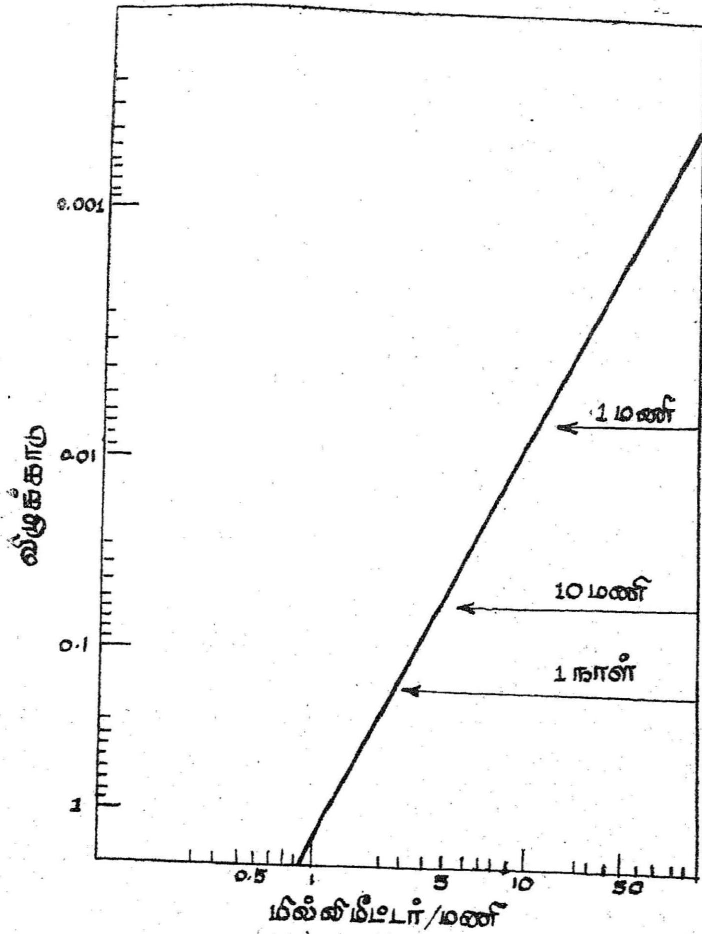
ராடார் கற்றைகளில் குளிர்ந்த அல்லது உறைந்த நீர்த் திவலைகள் இருப்பது, ஆற்றல் உட்கவர்தல் படுவதிலிருந்தும், திரும்பக் கதிர் வீசலிலிருந்தும் எல்லாத் திசைகளிலிருந்தும் சிதறடிக்கப்படுவதிலிருந்தும் தெரிகிறது. அடிப்படை உட்கவர்தல் எண், சிதறடித்தல் எண் ஆகியவற்றை அலைநீளம், மழைத் துளியின் விட்டம், நீரின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் கூறிஞலும், ஒரு குறிப்பிட்ட சூழ்நிலையில் மொத்த விளைவு ராடார் கற்றையைச் சூழ்ந்துள்ள மழையின் செறிவையும், வெப்பநிலையையும், நீர்த்திவலைப் பங்கீட்டையும் பொறுத்துள்ளது. ஒரு துளியின் உச்சப் பருமன் 0·1-லிருந்து 0·2 மி. மீட்டர் வரை மட்டுமே இருக்குமாதலால் மேகங்களிலும், மூடுபனியிலும் மெலிப்பான் எண்ணை (altennuation coefficient) ஒரு சில மி. மீ. நீளமுள்ள அலைகள் வரைக் கணக்கிடலாம். இந்த நிலைகளில் மெலிப்பான் எண் மழைத்துளியின் விட்டத்தைப் பொறுத்து அமையாது; அலைநீளம் ஓரலகுப் பருமனில் உள்ள நீர்த் திவலையின் நிறை ஆகியவற்றை மட்டுமே பொறுத்து அமையும். தோராயமாக அது அலைநீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். 18 டிகிரி சென்டிகிரேடு வெப்பநிலையில் $\lambda = 10$ செ. மீட்டரில் உட்கவர்தல் எண் ஏறத்தாழ 0·005 டெசிபல்/கி. மீ./கிராம்/செ. மீ.$^3$ ஆகும். இதுவே ஒரு செ. மீட்டரில் 0·4-க்கு அதிகரிக்கும். மேகங்களில் திரவ நீரின் அளவு 0·1 — 0·5 கிராம் — மீட்டர்$^3$ ஆகக் காணப்படுகிறது. ஒரு கிராம்/மீட்டர்$^3$ உச்ச அளவாகக் கொண்டு $\lambda = 10$ செ. மீட்டரில் ஒரு கி. மீ. மேகப் பாதைக்கு மெலிப்பான் $4 \times 10^{-3}$ *db* ஆக இருக்கும். சில குறிப்பிட்ட நிலைகளில இது 10-லிருந்து 100 மடங்கு அதிகரிக்கலாம். அப்பொழுது மெலிப்பான் 0·04 — 0·4 *db* ஐ அடையும்.

2·5 மி. மீட்டர்/மணி வீதத்தில் பெய்யும் மிதமான மழை, 3000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியில் ~ 0·001 *db*/கி. மீ. மெலிப்பானை உண்டாக்குகிறது. இதே வீதத்தில் பெய்யும் மழையில் 10,000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியில் மெலிப்பான் எண் ~ 0·04 *db*/கி. மீ. ஆகும். இதுவே 12·5 மி. மீ./மணி வீதத்தில் 0·35 *db*/கி. மீ. அதிகரிக்கிறது.

ராடார் வானியல் அளவீடுகளின் சில வகைகளில் மழைத் துளிகளிலிருந்து ஆற்றல் நுட்பம் வாய்ந்த *UHF* — *SHF* ஏற்பிகளை நோக்கி ஆற்றல் சிதறடிக்கப்படுவது சில அபாயமான சிக்கல்களைத் தோற்றுவிக்கும். துளிகளின் கொடுக்கப்பட்ட அடர்த்திக்கு மெலிப்பான் எண்ணின் அலைநீளச் சார்பு ஏறத்தாழ $\frac{D^3}{\lambda^2}$ என்ற அளவில் மாறுகிறது. ஆனால் பிற்சிதறலுக்கு (back scattering) அது $\frac{D^6}{\lambda^4}$ என்ற அளவில் மாறுகிறது. இவ்வாறு அலைநீளம் குறையும்பொழுது ஏற்பியைப் பிற்சிதறலின் விளைவிலிருந்து பாதுகாப்பது கடினமாகிறது.

சிதறல், மெலிப்பான் ஆகியவற்றுடன்கூட ஏற்கப்பட்ட சைகைகளின் வீச்சு, கட்டம் ஆகியவற்றில் குறுகிய கால ஏற்ற இறக்கங்கள் காணப்படுகின்றன. மேலும் ராடாரில் படு ஆற்றல் இல்லாதபொழுதுகூட, மேகங்கள், மழை ஆகியவற்றின் இயல்பான உட்கவர்தல் திரும்பக் கதிர்வீசல் ஆகியவை நுட்பம் வாய்ந்த மைக்ரோ அலை ஏற்பிகளின் செயலுறு வெப்பநிலையைப் பாதிக்கும். ராடோமில் விழுகின்ற மழை ஏற்பியின் இரைச்சல் வெப்பநிலையை அதிகரிக்கும். மேலும் தகுந்த சூழ்நிலைகளில் தொலைவில் உள்ள மைக்ரோ அலைப் பரப்பிகளிலிருந்து ஆற்றல் ராடார் ஏற்பியினுள் வளி மண்டல மழையால் சிதறடிக்கப்படும்.

செ. மீ., மி. மீ. அலைநீளங்களில் இயங்கும் ராடாரின் தொழிற்படு தன்மையை மழை பாதிப்பதன் காரணமாக, வெவ்வேறு செறிவுள்ள மழை பொழிகின்ற நேரத்தின் விழுக்காட்டைக் கணக்கிடுவது அவசியமாகும். பிரிட்டனில் உள்ள வானியல் ஆராய்ச்சிக் கூடத்திலிருந்து கிடைத்த தகவல்களின்படி இத்தகையதொரு கணக்கீடு செய்யப்பட்டது. இது படம் 6·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



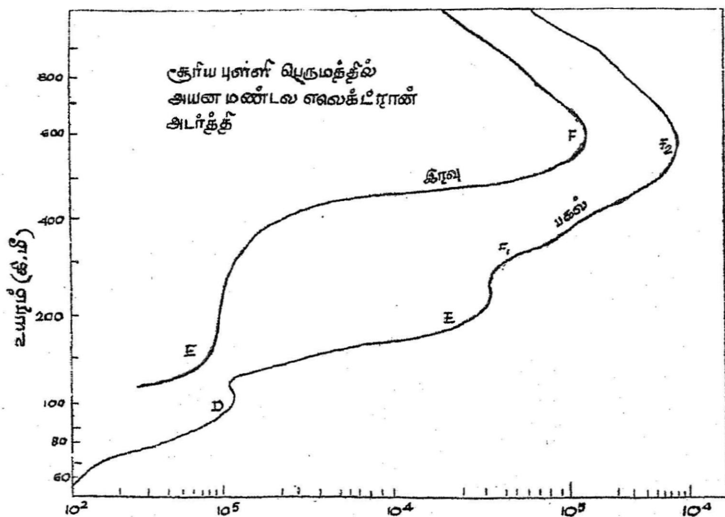

ஓர் ஆண்டில் மழைச் செறிவிற்கும், விழுக்காட்டிற்கும், உள்ள தொடர்பு.
(இங்கிலாந்து நாட்டில்)

படம் 6·2.

பிரிட்டனில் மழைப்பொழிவு $\geq$ 2·5 மி.மீ./மணி—அளவு. ஓர் ஆண்டில் ஒரு நாளுக்குமேல் நிகழமுடியாது. இருப்பிடம், பருவம், ஒரு நாளின் நேரம், ஆகியவற்றைப் பொறுத்தும் மழையின் அளவு வேறுபடுகின்றது.

**அயன மண்டலத்தில் பரவல் (Propagation in the ionosphere)**

பூமியின் அயன மண்டலத்தில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தியின் பங்கீட்டுப் படம் 6·3-ல் காட்டப்படுள்ளது. வரையப்பட்டுள்ள வளை கோடுகள் சூரியப்புள்ளி பெருமத்தில் எதிர்பார்க்கக்கூடிய எலக்ட்ரான் அடர்த்திகளைக் காட்டுகின்றன.




பூமியின் அயன மண்டலத்தில் இலட்சியத்தில் இலட்சிய எலெக்ட்ரான் அடர்த்திப் பங்கீடு.

படம் 6·3.

1950-ல் அயன மண்டலத்தின் அமைப்பு மிக நன்ருகத் தெரியவந்தது. அயன மண்டலத்தில் குறிப்பாக மூன்று அடுக்குகள் உள்ளன. இவை *D*, *E*, *F* அடுக்குகளாகும்.

மேலும் *F* பகுதி, $F_1$, $F_2$ என்ற இரு பகுதிகளாகப் பகலில் பிரிவதும் தெரியவந்தது. இப் பகுதிகளின் பண்புகள் அட்டவணை 6·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இப் பகுதிகளில் எலெக்ட்ரான்களின் அடர்த்தியைப் படம் 6·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. *D*, *E*, *F* பகுதிகள் 1931-ல் சப்மென் (Chapman) என்பவர் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் முன்கூட்டியே அறிவித்த பண்புகளைப் பெற்றுக் காணப்படுகின்றன. $F_2$ பகுதி முரணிய (anamolous) பகுதியாகும். எலெக்ட்ரான் அடர்த்திகளின் பெருமதிப்பு நடுவரைக் கோட்டுப் பகுதிகளில் காணப்படுவதில்லை. மாருக, புவிகாந்த நடுவரைக் கோட்டிலிருந்து ± 15 டிகிரியில் காணப்படுகிறது, மேலும் மழைக் காலத்தில் (கோடைக் காலத்தில் அல்ல) எலக்ட்ரான் அடர்த்திகள் பெரும் மதிப்புடையனவாக உள்ளன.

அயன மண்டலத்தின் பண்புகள்

அட்டவணை 6·1.

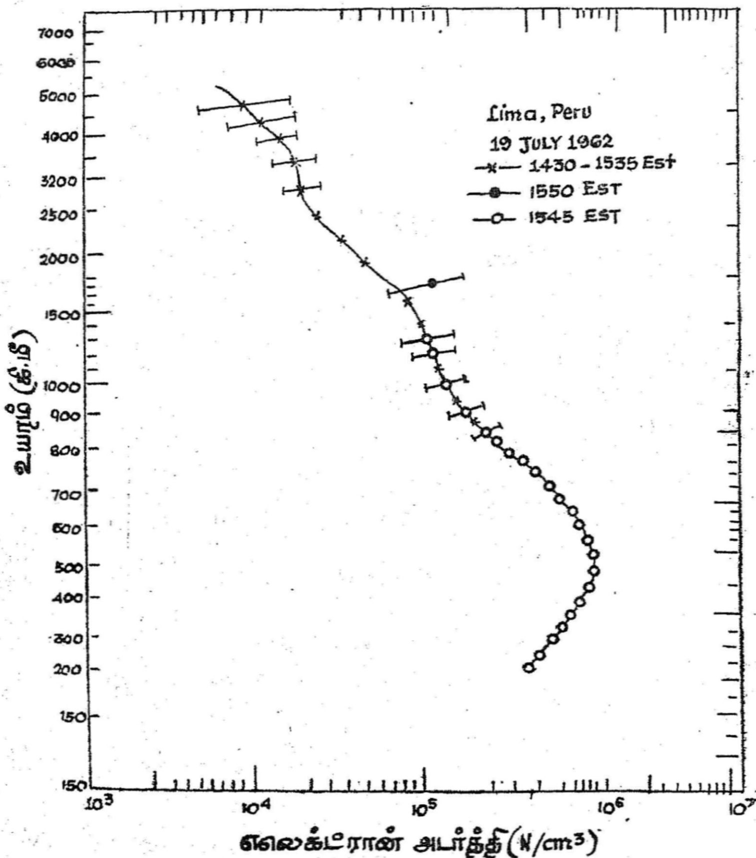
| பகுதி | பெரும உயரம் கி. மீ | சராசரி பெரும அடர்த்தி $N$ பெருமம் (max) | சூரியப் புள்ளி சுழற்சியின் போது மாறுபாடு $N$ பெருமத்தில் | நடுநிலைத் துகள்களின் எண்ணிக்கை அடர்த்தி | குறிப்பு |
|---|---|---|---|---|---|
| $D$ | ~ 70 கி. மீ. எலக்ட்ரான்களுக்கு | $\sim 10^3$ | 2 | $2\times10^{15}$/செமீ³ | 70 கி. மீ கீழே காஸ்மிக் கதிர்த் தோற்றம். 70 — 85 கி. மீ லெமன் $\alpha$ காணப்படுகின்றது. பாதிக்கப்பட்ட சூழ்நிலைகளில் $X$ கதிர்களினால் அதிக அளவு அதிகரிக்கிறது. |
| $E$ | 100 | $1{\cdot}5\times10^5$ (பகல்) $2{\cdot}0\times10^3$ (இரவு) | 1·5 | $6\times10^{12}$/செமீ³ | ஆக்ஸிஜனின் பிரிகை, சூரிய புற ஊதா, $X$ கதிர் ஆகியவற்றால் $O_2$, $O$, $NO_2$ ஆகியவற்றின் அயனி ஆக்கம். |
| $F_1$ | 200 | $3\times10^5$ இரவில் இல்லை | 1·5 | $1\times10^{10}$/செமீ³ | 13·5-லிருந்து 25 $ev$ வரை முதல் அயனியாக்க மின் அழுத்தத்தில் ஆக்ஸிஜன் அயனியாக்கம் முக்கியமாக $H_e$ 304 $AU$ கோடு. |
| $F_2$ | 300 | $1{\cdot}5\times10^6$ (பகல்) $2{\cdot}5\times10^5$ (இரவு) | 4 | $1\times10^9$/செமீ³ | ——— |

மாறுநிலை அதிர்வெண் $f_c$, பெரும எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $N$ பெருமம் - உடன்,

$$N \text{ பெருமம்} = 1{\cdot}24\, f_c^2 \times 10^4 \text{ எலக்ட்ரான்கள்/செ.மீ}^3 \quad (5)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இங்கு $f_c$ என்பது மெகா சுற்றுகளில் கொடுக்கப்படுகிறது.

அதிர்வெண் $f_c$-க்கு மேல் அயன மண்டலம், ராக்கெட்டுகள் துணைக் கோள்கள் ஆகியவற்றைக்கொண்டு பெருமளவில் ஆராயப் பட்டுள்ளது. ராக்கெட்டுகளைக் கொண்டு தொடக்கத்தில் செய் யப்பட்ட எலக்ட்ரான் அடர்த்தி அளவீடுகளிலிருந்து அயன

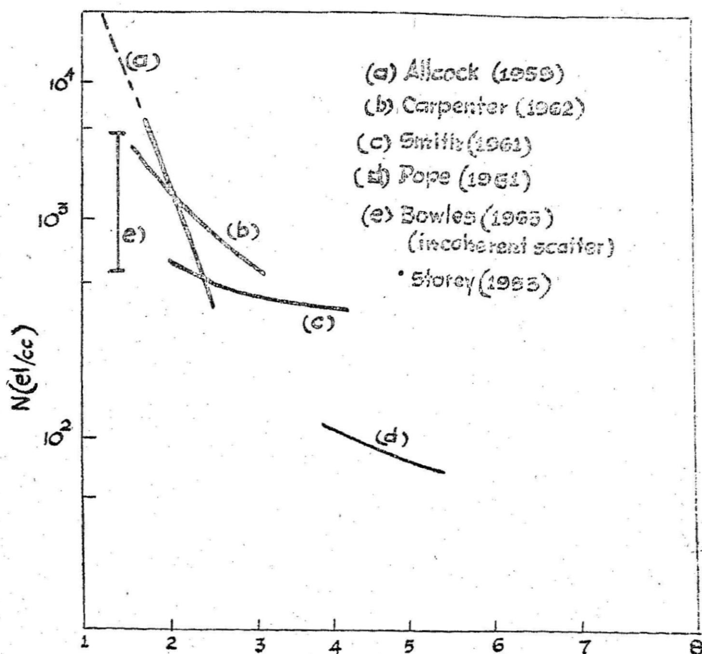



அயன மண்டலத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களால் சிதறடிக்கப்பட்ட ராடார் சைகை செறிவுக்ளைக் கொண்டு பெறப்பட்ட எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி.

படம் 6·4

மண்டலத்தின் பல்வேறு அடுக்குகள் தனித்தனியானவை அல்ல என்பது தெரிய வந்தது. மாருக, $F_2$ பகுதிவரை எலக்ட்ரான் அடர்த்தி தொடர்ந்து அதிகரித்துக்கொண்டே செல்கிறது.

அயன மண்டலம் முழுவதையும் ஓர் உயர் திறன் *UHF* அல்லது *VHF* ராடாரைக் கொண்டு எலக்ட்ரான்களின் எதிரொளிப்பைக் கொண்டு ஆராய்வதற்கான சோதனைகள் அண்மையில் உருவாகி உள்ளன. படம் 6·4-ல் இந்த முறையில் பெறப்பட்ட முடிவுகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இதைத் துணைக் கோள்கள், ராக்கெட்டுகள் ஆகியவற்றைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட சோதனைகளுடன் பொருத்தி எலக்ட்ரான்கள், அயனிகள் ஆகியவற்றின் வெப்ப நிலையை அறியலாம். படத்திலிருந்து $F_2$ பகுதியின் மேற்புறம் 1000 கி. மீட்டருக்கு அதிகமாகச் செல்வது நன்ருகத் தெரிகிறது.




பல்வேறு ஆய்வாளர்கள் பெற்ற எலக்ட்ரான் பங்கீடு.

படம் 6·5.

1000 கி. மீ உயரத்திற்கு அப்பால் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி கோள்களுக்கிடையே உள்ள இடத்தில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் அடர்த்திக்குக் குறைகிறது. இந்தப் பகுதியில் எலக்ட்ரான்கள்

எவ்வாறு பங்கீடு செய்யப்பட்டுள்ளன என்பது கீச்சிடும் வளி மண்டலங்களின் (whistling atmosphere) ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து தெரிகிறது. பல்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்கள் இம் முறையைப் பயன் படுத்தி எலக்ட்ரான் பங்கீடுகளைக் கணக்கிட்டுள்ளனர்.

இந்த முடிவுகளின் ஒன்றாக 1963-ல் கார்ப்பெண்டர் என்பவர் கொடுத்த முடிவு படம் 65-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. பல்வேறு முடிவுகளுக்கிடையே ஓர் ஒருமைப்பாடு புலனாகிறது. இவ்வளவு அதிகமான உயரங்களில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி பகலிலிருந்து இரவிற்கு மாறும் அளவு மிகக் குறைவாகவே உள்ளது. ஏனெனில் எலக்ட்ரான்களின் ஆயுள் மிக அதிகமாகும்.

**அயன மண்டலத்தின் இயக்கங்களும் ஒழுங்கீனங்களும்**

இப் பகுதியில் அயன மண்டலத்தில் நிகழ்கின்ற சில ஒழுங் கீனங்களைப் பற்றிப் பார்ப்போம். ஏனெனில் இவை ரேடியோ விளைவுகளில் குறிப்பிடத்தக்க மாறுதல்களை உண்டாக்குகின்றன.

அயன மண்டலத்தை ஆராய்வதற்கு வழவழப்பான கோள வடிவ அடுக்குகளைப் பெரும்பாலும் கற்பிதம் செய்து கொள்கிறோம். சில இடங்களில், சில நேரங்களில் இது துல்லியமாக இல்லாவிட் டாலும்கூட, இது எப்பொழுதும் முழு உண்மையாகாது. அயன மண்டல அடுக்குகள் அடிக்கடி மாறிக்கொண்டே இருக்கின்றன. இவைகளில் $E$ அடுக்கின் மாற்றம் (sporadic-E) $F$-ன் பரப்பல் ஆகியவை முக்கியமாகும்.

**பூமியின் அயனமண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகள் பரவல்**

பூமியின் அயன மண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகள் பரவுதலைப் பற்றி பல்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்கள் எழுதியுள்ளனர். இருந்த போதிலும் ராடார் வானியலில் அயன மண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகள் அதை முழுவதுமாகக் கடந்து செல்லும்பொழுது மட்டும் ஏற்படும் விளைவுகளைப்பற்றி மட்டுமே காணவேண்டும். இவ்வாறு ரேடியோ அலையின் பாதையில் வரக்கூடிய பெரும பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_c$ ஐ விட அதிகமான அதிர்வெண்கள் $f$ ஐப் பற்றி மட்டுமே நாம் கொள்ளவேண்டும். இந்த முறையில் லோரன்ஸ், வாரோனின் ஆகியோர் ஆராய்ந்துள்ளனர். அவர்களுடைய ஆராய்ச்சிகள் $f \leqq f_c$ என்ற அளவிலேயே நடந்தன. இங்கு $f_c = \sqrt{N_{\text{பெருமம்}}\, e^2/\pi m}$ ஆகும். மாறுநிலை அதிர்வெண்

$f_c$-க்கும் ஜைரோ அதிர்வெண் $f_H$-க்கும் $\left(=\frac{eH}{2\pi m}\right)$ அதிகமான அதிர்வெண்களில் விலகல் எண்ணிற்கு உள்ள சமன்பாடு

$$n^2 = 1 - \frac{f_P{}^2}{f(f \pm f_H)} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

என்றாகிறது. இதையே ரேட்கிலிஃப் (Ratcliffe) என்பவரின் குறியீடுகளைக் கொண்டு எழுதலாம். அதாவது $X = \left(\frac{f_P}{f}\right)^2$

$Y = \frac{f_H}{f}$, $f_P = \sqrt{Ne^2/\pi m}$ எனக்கொண்டு,

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 \pm Y} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

என்றாகிறது.

ரேடியோ அலை புவிகாந்தப் புலவிசைக் கோடுகளின் வழியே பரப்பப்படும்பொழுது மட்டும் இந்தச் சமன்பாடு பொருந்துமாதலின் இது நெட்டலைச் சமன்படு (longitudinal) என்று அழைக்கப் படுகின்றது. இந்தச் சமன்பாட்டிற்கு இரு தீர்வு (solutions)கள் உள்ளன. இதனால் ஒருதள அலைகாந்தப் புலத்தின் வழியே பரப்பப்படுகிறது. இந்தத் தள அலையை எதிர்த்திசையில் சுழலு கின்ற இரு வட்டத்தள விளைவுற்ற அலைகளாகக் கருதலாம். வலஞ்சுழி தள விளைவுற்ற அலை அசாதாரண அலை என்றும், இடஞ்சுழி தள விளைவுற்ற அலை சாதாரண அலை என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

காந்தப் புலத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் செல்வதும், மின்புலத்தைக் காந்தப் புலத்தின் திசையில் கொண்டுள்ளதுமான ஓர் அலையின் விலகல் எண்ணை

$$n^2 = 1 - \frac{f_P{}^2}{f^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7 \cdot a)$$

என்று எழுதலாம். அல்லது

$$n^2 = 1 - X \quad (7.b) \quad \text{இங்கு } X = \frac{f_P{}^2}{f^2}$$

இந்நிலையில் காந்தப் புலம், பரப்பலில் மாறுதலைத் தோற்றுவிப்ப தில்லை. ஆனால் அலையின் மின்புலம் காந்தப் புலத்திற்குச் செங்குத்தாக இருந்தால் விலகல் எண்ணை,

$$n^2 = 1 - \frac{f_P{}^2\ (f^2 - f_P{}^2)}{f^2\,(f^2 - f_P{}^2 - f_H{}^2)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.a)$$

என்று எழுதலாம். அல்லது

$$n^2 = 1 - \frac{X\,(1 - X)}{1 - X - Y^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.b)$$

என்ருகிறது.

எங்கு மின் புல வெக்டர் காந்தப் புலத்திற்குச் செங்குத்தாகவோ அல்லது காந்தப் புலத்தின் திசையிலோ இல்லாமல் வேறு ஏதாவது திசையில் அமையுமாஞல் அங்கு அலை இருகூறுகளாகப் பிரிந்து சமன்பாடு (7-$a$)-ஞல் கொடுக்கப்படுகிற விலகல் எண்ணைக் கொண்டு அசாதாரண அலையாகவும் பரவுகிறது. சாதாரண அலை நேர்கோட்டுத் தள விளைவுற்றும் அசாதாரண அலை நீள்வட்டத் தள விளைவுற்றும் அமைகின்றன. ஆஞல் தள விளைவுத்தளம் பரவல் தளத்திலேயே அமைகின்றது; செங்குத்துத் தளத்தில் அமைவதில்லை.

இதைக் குறுக்கு நிலை (transverse) என்கிருேம். அயன மண்டலத்தின் வழியே அலைகள் பரவலை அரைக்குறுக்குநிலை (quasi-transverse) என்ருே, அல்லது அரை நெடுக்க நிலை (quasi-longitudinal) என்ருே கூறுவது பொருத்தமாகும். காந்தப் புலத்திற்கு $\phi$ கோணத்தில் ஒரு கதிர் செல்லும்பொழுது இரு நிலைகளுக்கிடையே பெயர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இங்கு $\phi$ என்பதை

$$\tfrac{1}{2}\ \text{சைன்}\ \phi\ \text{டான்}\ \phi = \frac{(f^2 - f_P{}^2)}{f \cdot f_H} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9)$$

என்பதிலிருந்து பெறுகிருேம்.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் இடப்புற மதிப்பு, வலப் புற மதிப்பை விடக் குறைவாக இருக்கும் பொழுது, அரை-நெடுக்கு நிலை பொருந்துகிறது. அயன மண்டலத்தை ஊடுறுவிச் செல்லுகின்ற பெரும்பாலான கதிர்களுக்கு ($f > f_c$), அரை-நெடுக்கு நிலை கணிசமான அளவு கோணங்களில் பொருந்தும். காட்டாக, 100 மெகா-சுற்றுகள்/விஞடி அதிர்வெண்ணையுடைய ஓர் அலை $F$ பகுதி வழியே செல்லும்பொழுது, அதன் மாறுநிலை அதிர்வெண் (critical frequency) 10 மெகா சுற்றுகள் / விஞடியாக இருக்கையில் ($f_H = 1\ mc/s$), அது 89 டிகிரி வரையிலான கோணம் $\phi$-ன் மதிப்புகளுக்கு அரை-நெடுக்கு நிலையைப் பெற்றுக் காணப்படும். இவ்வாறு பொதுவாக, புவிகாந்தப் புலத்தைப் பொறுத்து பெரும்பாலான பரப்பில் திசைகளுக்கு $f >> f_c$ உள்ள ரேடியோ அலைகள்

கிட்டத்தட்ட அரை-நெடுக்க நிலை முறையில் பரவும். அதாவது அவைகளின் விலகல் எண் சமன்பாடு (6)ஆல் பெறப்படும் மதிப்பை அடையும். ஆனால் இதில் $f_H$ -க்குப் பதிலாக $f_H$ காஸ் ф-ன் மதிப்பை எழுதவேண்டும். இந்த விலகல் எண்களுடன் பொருந்துகின்ற நிலைகள் இரண்டும் வட்ட வடிவங்களாகும். வட்டத்தள விளைவுற்ற அலைகளைப் பரப்பினால் பிறகு அவை இந்த இரண்டில் ஒரு நிலையுடன் மட்டும் சுழற்சித் திசைக்குத் தகுந்தாற் போல் பொருந்தும். தளதள விளைவுற்ற அலையின் ஆற்றல் இரு வட்டக் கூறுகளினிடையே சம அளவில் பங்கிடப்படும். நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற, (elliptically polarized) அலைகள் (இவற்றை ஒரு தளதள விளைவுற்ற அலை, வட்டத்தள விளைவுற்ற அலை (circularly polarized) ஆகியவற்றின் தொகுப்பாகக் கொள்ளலாம்) இரு நிலைகளிடையே சமமற்ற முறையில் பிரியும்,

## பூமியின் அயனமண்டலத்தில் ரேடியோ அலைகளின் தள விளைவு (ஃபாரடே விளைவு)

ஒரு தளவிளைவுற்ற அலை அயன மண்டலத்தின் வழியே செல்லும்பொழுது அது பொதுவாக இரு வட்டத்தள விளைவுற்ற அலைகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது என்பதும், இந்த வட்டத் தள விளைவுற்ற அலைகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் சுழல்கின்றன என்பதும், அவைகளின் கட்டத்திசை வேகங்கள் (phase velocity) வெவ்வேறானவை என்பதும் நிறுவப்பட்டுள்ளன. இதன் விளைவாக அலையானது அயன மண்டலத்திலிருந்து ஒரு தளதள விளைவுற்ற அலையாக வெளிவருகின்றது. (இருவட்டக் கூறுகளும் எந்தத் தருணத்திலும் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு தளதள விளைவுற்ற அலையை உண்டாக்கும்). இவ்வாறு அயன மண்டலத்திலிருந்து வெளி வருகின்ற வட்டத்தள விளைவுற்ற அலை, தனது பழைய திசையி லிருந்து சுழற்றப்படுகிறது. அயன மண்டலத்தின் வழியே அலை பரவும்பொழுது இவ்வாறு ஏற்படுகின்ற சுழற்சி ‘Ω’ கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

$$\Omega = \frac{1}{4\pi^2} \frac{e^8 c}{m^2 f^2} \int_0^R H_r N_r \text{ காஸ் } \theta_r \, dr \text{ சுழற்சிகள் } \quad ...(10)$$

இங்கு,

$e$ = எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் ($1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ $CGS$ அலகு)

$c$ = ஒளியின் திசை வேகம் ($3 \times 10^{10}$ செ. மீ./வினாடி)

$H_r$ = $r$ என்ற புள்ளியில் புவி காந்தப் புலம். (காஸ்களில்)

$N_r$ = $r$ என்ற புள்ளியில் ஒரு கன செ. மீ எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை.

$\theta_r$ = கதிருக்கும், புலத்திற்கும் இடையில் உள்ள கோணம்.

$m$ = எலக்ட்ரானின் நிறை.

$f$ = ரேடியோ அலை அதிர்வெண் (சுற்றுகள்/விநாடி)

$R$ = கதிரின் பாதையில் அளக்கப்பட்ட தூரம்.

அலை இலக்கில் (target) பட்டுத் திரும்பி வரும் பொழுது அதே அளவு சுழற்சியை அடைவதால் ராடார் வானியல் சோதனைகளில் காணப்படும் மொத்தச் சுழற்சி, சமன்பாடு (10) ஆல் கொடுக்கப் படும் சுழற்சியைவிட இரு மடங்காகும். எலக்ட்ரானின் அடர்த்தி $N$ஐ, உயரம் $h$-ன் சார்பலனாகக் கூறுவது எளிதாகும். பிறகு ஓர் அலை இரு திசைகளில் செல்லும்பொழுது மொத்தச் சுழற்சி,

$$\Omega = \frac{1}{2\pi^2} \frac{e^3 c}{m^2 f^2} \int_0^R N_h \, H_h \text{ காஸ் } \theta_h \text{ சீக்கன்ட் } i_h \, dh \text{ சுழற்}$$

சிகள் ... (11)

இங்கு $i$ என்பது கதிரின் பாதைக்கும் உச்சிப் புள்ளிக்கும் (zenith) இடையே உள்ள கோணமாகும். காஸ் $\theta_h$-ன் மதிப்பை,

$$\text{காஸ் } \theta_h = [-\text{காஸ் } \epsilon \text{ சைன் } I - \text{சைன் } \epsilon \text{ காஸ் } I \ (\gamma - D)] \quad ... \ (12)$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

இங்கு $I$ = காந்தச் சாய்வு (magnetic inclination)

$D$ = காந்த ஒதுக்கம் (magnetic declination)

$\gamma$ = பார்வையாளரின் இருப்பிடத்திற்கும் அடிவானத்திற்கும் (azimuth) இடையே உள்ள கோணம்.

$$\epsilon = \text{சைன் }^{-1} \left[ \frac{\gamma_0}{\gamma_0 + h} \cos E \right]$$

இங்கு,

$\gamma_0$ = பூமியின் ஆரம்.

$h$ = அயன மண்டலத்தில் புள்ளியின் உயரம்.

$E$ = ஆன்டென்னு ஏற்றக் கோணம்.

உச்சிக் கோணத்தின் சீக்கண்ட் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் கொடுக்கலாம்.

$$\text{சீக்கண்ட் } i_h = \frac{\gamma_0 + h}{[(\gamma_0 + h)^2 - (\gamma_0 \cos \epsilon)^2]^{1/2}} \quad \ldots \quad (13)$$

காந்த ஒதுக்கத்தையும், சாய்வையும் முதல்நிலை அளவில் உயரத்துடன் மாருதனவாகக் கொள்ளலாம். செறிவு $H$ ஐ $(r_0 + h)^3$-க்கு எதிர் விகிதத்தில் மாறுவதாகக் கொள்ளலாம்.

பிரௌன்ஸ், ஈவான்ஸ், பாயர், டேனியல் ஆகியோர் அயன மண்டலத்திற்கு அப்பால் உள்ள இடத்தில் ஒரு கன செ. மீட்டருக்கு $10^3$ எலக்ட்ரான்களுக்கு அதிகமாக இல்லாமல் இருக்கும் பொழுது, சுழற்சி $\Omega$-ன் பெரும் பகுதி முதல் 1000 கி. மீட்டர்களுக்குள்ளேயே நிகழ்வதாக நிறுவியுள்ளனர். இவ்வாறு சமன்பாடு (11) ஐ

$$\Omega = \frac{7{\cdot}53 \times 10^3}{f^2} \, H \text{ காஸ் } \theta \text{ சீக்கண்ட் } i \int_0^{1000} N dh \text{ சுழற்சி} \ldots (14)$$

என்று எழுதலாம். பெரும்பாலான அட்சரேகைகளுக்கும் திசைகளுக்கும் $H$ காஸ் $\theta$ சீக்கண்ட் $i$-ன் மதிப்பு 0·4-லிருந்து 0·6 வரை உள்ளது மிதவெப்ப அட்சரேகைகளுக்கு $H$ காஸ் $\theta$ சீக்கண்ட் $i$-ன் மதிப்பு 350 அல்லது 400 கி. மீ. உயரத்தில் உண்மையாகக் காணப்படும் மதிப்புகளை ஒத்துள்ளது. பூமியில் உள்ள ஒரு பார்வையாளர் இலக்கைப் பார்க்கின்ற முறையில் ஃபாரடே சுழற்சி இடஞ்சுழியாகத் தோற்றமளிக்கிறது.

சமன்பாடுகள் (10), (11), (14) ஆகியவை லிட்டில், லாரன்ட்ஸ், ஈவான்ஸ், டெய்லர் ஆகியோரால் பல்வேறு தற்கோள் (assumption) களின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டுள்ளன. இவைகளில் முக்கியமாக ரேடியோ அலை அதிர்வெண் மாறுநிலை அதிர்வெண்ணைவிட அதிகமானது என்று கொள்ளப்பட்டுள்ளது. ($f >> f_c$). மேலும் அரை நெடுக்கத் தோராயம், அதாவது,

$(f^2 - f_c^2)/ff_H > (\frac{1}{2}$ சைன் $\phi$ டான் $\phi)$ மெய்யானது என்று கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இன்னும் கருத்தில் கொள்ளத்தக்க அளவு "காந்த அயனிப் பாதைப் பிரிகை" (magneto-ionic path dispersion) நிகழவில்லை என்றும் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இறுதியில் கூறப் பட்ட விளைவு, இரு நிலைகளின் விலகல் ஒன்றுக்கொன்று சிறிதளவு மாறுபடும் என்ற கருத்தின் அடிப்படையிலும் அயன மண்டலத்தை இரு நிலைகளும் கடந்து செல்கின்ற தூரத்தில் வேறுபாடு இருக்கும் என்ற கருத்தின் அடிப்படையிலும் நிறுவப்பட்டுள்ளது. $f$-ன் மதிப்பு $f_c$-ன் மதிப்பை நெருங்கும்பொழுது மூன்று தற்கோள்களுமே பொருந்துவதில்லை. அப்பொழுது உச்சிக் கோணம் $i$ உடன் காந்த அயனிப் பிரிகையும் அதிகரிக்கிறது. துணைக்கோள்களிலிருந்து பெறப்பட்ட ஃபாரடே சுழற்சியின் காட்சிப் பதிவுகளிலிருந்து சமன்பாடு (14) 40 மெகா சுற்று/வினாடி அதிர்வெண்கள் வரை பொருந்துகிறது என்பதும், அதற்குக் கீழே பொருந்துவதில்லை என்பதும் தெரிகின்றது.

ரேடியோ அலையின் சுழற்சி அதனுடைய அதிர்வெண்ணின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் அமையும். மிதவெப்ப அட்சரேகை களில் குளிர்காலத்தில் 100 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி அதிர்வெண் உள்ள ஓர் அலை நடுப்பகலில் இரு திசைப் பாதைகளுக்குமாக (Two way path) 30 தடவைகள் சுழலலாம். இரவில் இந்தச் சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை மூன்று அல்லது ஐந்துக்குக் குறைய லாம். சுழற்சி மாறும் வீதம் ஒரு நாளின் நேரத்தின் சார்பல னுகவும் உள்ளது. இரவில் சுமார் ஒரு மணி நேரத்தில் அரைச் சுழற்சி அளவே மாற்றம் ஏற்படலாம். ஆனுல் சூரிய உதயத்தில் தளவிளைவுத் தளம் சுமார் ஐந்து நிமிடங்களிலேயே 180 டிகிரி வரை மாறக்கூடும். குறைந்த அதிர்வெண்களில் இந்த விளைவுகள் இன்னும் அதிகமாக இருக்கும். வட்டத்தள விளைவுற்ற அலை களைப் பரப்பி, ஏற்பதைவிட வேறு எந்த முறையிலும் *VHF*, அல்லது *VHF*-களில் சைகைகளின் ஃபாரடே சுழற்சியை நீக்க முடியாது. இருப்பினும் *F* பகுதியின் மாறுநிலை அதிர்வெண் தெரிந் தால் சுழற்சியின் அளவைத் தோராயமாக முன்கூட்டியே அறியலாம்.

அயன மண்டலத்தில் உள்ள மொத்த எலக்ட்ரான்கள் அளவை நிர்ணயிப்பதற்குச் செய்யப்பட்ட நிலா ராடார் சோதனை களிலிருந்தும், செயற்கைக் கோள்களின் காட்சிப் பதிவிலிருந்தும் $F_2$ அடுக்கின் பெரும் உயரத் ($h$ பெருமம்) திற்கு மேல் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ($n_a$) அதற்குக் கீழ் உள்ள எலக்ட் ரான்களின் எண்ணிக்கை ($n_b$) அளவே இருந்தது. வடக்கு அட்ச ரேகைகளில் அவற்றின் விகிதம் குளிர்காலத்தில் 2·5:1 என்றும்,

கோடை காலத்தில் சிறிது அதிகமாகவும் இருந்தது. நடுவரைக் கோட்டுப் பகுதியில் இந்த விகிதம் 1·5:1 என்று இருந்தது. இதிலிருந்து இந்த விகிதம் நடுவரைக் கோட்டுப் பகுதியில் சிறும மாக இருபதும், உயர் அட்சரேகைகளை நோக்கிச் செல்லும்பொழுது அதிகரிப்பதும் தெரிகிறது. எல்லா அட்சரேகைப் பகுதிகளிலும் $\frac{n_a}{n_b}$ -ன் சிறும மதிப்பு நடுப்பகலில் காணப்படுகிறது. இது இரவில் 5-லிருந்து 10 மடங்கு வரை அதிகரிக்கிறது. $h$ பெரு-க்குக் கீழே யுள்ள மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $h_b$ ஐ உயரத்தி லிருந்து கணக்கிட்டால், பிறகு இந்த விகிதங்களைப் பயன்படுத்தி மொத்த எண்ணிக்கை $\int Ndh$ ஐக் காணக்கிடலாம். பிறகு சமன் பாடு (14) ஐப் பயன்படுத்தி மொத்த சுழற்சியைக் கணக்கிடலாம்.

ஃபாரடே சுழற்சியின் அளவில் அன்றாட மாற்றங்களுடன் கூட மொத்த சுழற்சியில் ஏற்ற இறக்கங்களும் காணப்படுகின்றன. இவை சில 10 நிமிடங்கள் (10′) அளவில் இருக்கும். இந்த ஏற்ற இறக்கங்கள் அயன மண்டலத்தில் ஏற்படுகின்ற ஒழுங்கீனங் களால் ஏற்படுகின்றன.

## பரப்பல் தாமதம் (Propagation delays)

ராடார் வானியல் சோதனைகளில் பூமியின் அயன மண்டலத் தால் ஏற்படுகின்ற இரண்டாவது கடுமையான விளைவு குறைந்த குழுத்திசை வேகத்தால் (group velocity) இயல்பான வெளியில் அலைப் பரவலில் ஏற்படும் கூடுதலான தாமதமாகும். அயன மண்டலத்தில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மாறும்பொழுது பரவல் தாமதத்திலும் மாறுதல்கள் தோன்றும். இவை டாப்ளர் விளைவுகளாகக் காணப்படும்.

ஜைரோ காந்த அதிர்வெண் $f_H$, பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_p$ ஐ விடக் குறைவாக உள்ள பகுதியில், $f_p$ ஐ விட அதிகமான அதிர்வெண் $f$ ஐ உடைய ரேடியோ அலைகளுக்கு, (சுமார் 10 மடங்கு) ஒரு ரேடியோ அலையின் குழுத்திசை வேகம் $u$ ஏறத்தாழ

$$u = c\sqrt{1 - \frac{f_p^2}{f^2}}$$

$$= c\sqrt{1 - \frac{Ne^2}{\pi m f^2}} \quad CGS \text{ அலகுகள்} \quad \ldots \quad (15)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

ஒரு ரேடியோ எதிரொளிப்பு அமைப்பினுல் அளக்கப்படுகின்ற உண்மையான தொலைவு $R$-ல் உள்ள ஒரு பொருளின் தோற்றத் தூரத் தாமதம் கீழ்க்கண்டவாறு பெறப்படுகிறது.

$$\text{தாமதம் (Delay)} = \frac{2}{c}\int_0^R \left(1 - \frac{Ne^2}{\pi m f^2}\right)^{-\frac{1}{2}} dr$$

விஞடிகள் ... (16)

அயன மண்டலத்தில் $N$-ன் மதிப்பு $10^6$ எலக்ட்ரான்/செ.மீ.$^3$ ஐ விட அதிகமாக இருப்பதில்லை. 100 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி அதிர் வெண்ணையுடைய ஓர் அலைக்கு உறுப்பு $\frac{Ne^2}{\pi mf^2} \approx 10^2$ இவ்வாறு குறிட்பிடத்தக்க அளவு பிழையின்றி, சமன்பாடு (16) ஐ அடைப் புக்குள் உள்ள உறுப்பை, ஈருறுப்பு (Binomial) முறையில் விரித்து எளிதாக்கலாம்.

$$\text{தாமதம்} = \frac{2}{c}\int_0^R \left(1 + \frac{Ne^2}{2\pi m f^2} + \cdots\right) dr \text{ விஞடிகள்}$$

... ... (17)

இவ்வாறு அயனியாக்கமடைந்த ஊடகத்தினுல் நேரத்தில் தோற்ற அதிகரிப்பு கீழ்க்கண்டவாறு பெறப்படுகிறது.

$$\text{தாமத அதிகரிப்பு} = \Delta T \approx \frac{1}{c}\int_0^R \frac{Ne^2}{\pi m f^2} dr \text{ விஞடிகள்}$$

$$\approx \frac{8{\cdot}2 \times 10^7}{cf^2}\int_0^R N dr \text{ விஞடிகள்} \quad (18)$$

இங்கு $N$ என்பது ஒரு கன செ. மீ.-ல் உள்ள எலக்ட்ரான்களையும், $f$-சுற்றுகள்/விஞடியையும் குறிக்கும்.

சமன்பாடு (18)-லிருந்து $\Delta T$-ஆனது பாதை முழுவதும் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது என்பது தெரிகிறது.

அயன மண்டலத்தில் மித வெப்ப அட்ச ரேகைகளில் ஒரு சதுர செ. மீ. பரப்பில் நிற்கும் செங்குத்தான பத்தியில் (column) எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பகலில் $5 \times 10^{13}$-லிருந்து இரவில் $5 \times 10^{12}$ வரை மாறுகிறது, எனவே, 100 மெகா சுற்றுகள் / வினடி -ல் 13 சிக்கன்ட் $i$ மைக்ரோ வினடிகளிலிருந்து 1·3 சிக்கன்ட் $i$ மைக்ரோ வினடிகள் வரை பகலின் நேரத்தைப் பொறுத்துக் குழுத் தாமதம் (group delay) ஏற்படும் என்று எதிர் பார்க்கலாம். இதிலிருந்து மற்ற அதிர்வெண்களில் ஏற்படும் தாமதத்தையும் கணக்கிடலாம். கோள்களுக்கு இடையேயுள்ள எலக்ட்ரான் வாயுவினுலும் கூடுதலான தாமதம் நிகழ்கிறது. இதைப்பற்றிப் பின்னர் கூறுவோம்.

ரேடியோ அலை அதிர்வெண் $f$-ன் மதிப்பு மாறுநிலை அதிர் வெண் $f_c$ ஐ நெருங்கும்பொழுது சமன்பாடு (18)-ல் உள்ள எளிய தோராயம் பொருந்தாது. அயன மண்டலத்தின் வழியே ரேடியோ அலைப் பாதையை நேர்க் கோட்டு முறையில் குறிக்க முடியாது. எனவே விலகலைக் கொள்ளவேண்டும். ஆகவே அலைகள் செல்லு கின்ற உண்மையான பாதையை நிர்ணயிக்க, கதிரைப் பதிவு செய்யும் முறைகளைக் கொள்ள வேண்டும். ஆனால் எந்த நேரத் திலும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை மிகத் துல்லியமாக அறிய முடியாதாகையால் இந்த முறை அவ்வளவு எளிதான தல்ல. இது பூமியின் அயன மண்டலத்தால் ஏற்படும் தாமதத் துடன் ஒப்பிடும்பொழுது மிக மிகச் சிறியதாகும்.

அன்றாட மாறுபாடுகளினலோ அல்லது செயற்கைக் கோள் களின் சைகைகளைப் பதிவு செய்யும்பொழுது ஏற்படுகின்ற கதிர்ப் பாதையின் இயக்கத்தினலோ, பார்வைக் கோட்டில் எலக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கை மாறும்பொழுது டாப்ளர் பெயர்ச்சி தோன்று கிறது. இந்தப் பெயர்ச்சியின் அளவைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டி னல் பெறலாம்.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{-e^2}{\pi m c f^2} \frac{d}{dt} \int_0^R N\,dr \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

அதாவது $\Delta f = \dfrac{-4\cdot 1 \times 10^7}{cf} \dfrac{d}{dt} \displaystyle\int_0^R N\,dr$

சுற்றுகள்/வினடி.

இவ்வாறு தொகுனியாக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மாறும்பொழுது ஏற்கப்பட்ட சைகைகளின் அதிர்

வெண்ணில் மாற்றம் காணப்படும். இதைப் பரப்பப்பட்ட அதிர்வெண் $f$-ன் விழுக்காட்டில் கூறும்பொழுது இது $\frac{1}{f^2}$ - க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். உண்மையான அதிர்வெண் பெயர்ச்சி $\triangle f \propto \frac{1}{f}$ ஆகும். இவ்வாறு இந்த விளைவு பல நூறு மெகா சுற்றுகள்/விநாடி — அதிர்வெண்களுக்கு மிகவும் கடுமையான தாகும். இவ்வாறு ஒரு T I D (Travelling Ionospheric Distance) $\int N\,dr$-ன் மதிப்பை 10 நிமிடங்களில் 2% உயர்த்தும். 100 $mc/s$-ல் மொத்தத் தாமதம் $10\mu$ விநாடிகளானால், பிறகு T I D தோற்ற டாப்ளர் பெயர்ச்சியை $0{\cdot}03$ சீக்கன்ட் $i$ சுற்றுகள்/விநாடி-க்கு உயர்த்தும். $\int N\,dr$-ன் மதிப்பில் மாறுதல்கள் நிகழும் பொழுது இத்தகைய பெயர்ச்சிகள் எப்பொழுதும் அதிகாலையில் காணப்படும். பொதுவாக, மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை இவ்வளவு எளிதாக மாறுது. ஒழுங்கற்ற ஏற்ற இறக்கங்கள் ஒழுங்கற்ற கட்ட மாறுபாடுகளைத் தோற்றுவிக்கும். இதனால் சைன் அலை சைகையில் டாப்ளர் அகலம் ஏற்படும்.

**முழு அயன மண்டலத்தால் விலகல்**

மூலத்தின் உயரத்தின் உண்மையான கோணத்தைவிட ரேடியோ அலைகளின் படுகோணத்தை அதிகரிப்பதே அயன மண்டல விலகலின் முக்கியமான விளைவாகும். ரேடியோ அலைகளின் வளி மண்டல விலகல் எந்த அலைக்கும் நிகழும். வளி மண்டல விலகலை அதிர்வெண் பாதிக்காது. மாறாக, அயன மண்டல விலகல் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்தே அமையும். இது அயன மண்டலத்தின் விளைவினாலேயே நிகழ்கிறது. தள வடிவப் பூமியின் மேற்பரப்பில் ஒரே சீரான தடிமனையுடைய தளப் பாளமாக (plane slab) அயன மண்டலம் இருக்குமானால், ஒரு கதிர் படுகோணத்திற்குச் சமமான கோணத்திலேயே அயன மண்டலத்தை விட்டு வெளியேறும். ஏனெனில் பாளத்தின் இரு பக்கங்களிலும் விலகல் எண் ஒன்றுக்கு அருகில் இருக்கும். வளி மண்டல விலகலை விஞ்ஞானிகள் நன்ருக ஆராய்ந்துள்ளனர். ஆனால் அயன மண்டல விலகல் அவ்வளவு ஆராயப்படவில்லை. நீண்ட ரேடியோ அலை நீளங்களில் அதிகமான கோணப் பகு திறன் பெற முடியாததே இதற்குக் காரணமாகும். இத் துறையில் செய்யப்பட்ட சில ஆராய்ச்சிகளிலும் விலகல் முக்கியமாக $F_2$ பகுதியில் உண்டாக வேண்டும் என்றும், மேலும் இப் பகுதி பரவளைய (paraboiic) எலக்ட்ரான் அடர்த்திப் பங்கீட்டைப் பெற்றுள்ளது என்றும் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. மூலத்தின் தோற்ற உயரத்தை மாற்றுவது அயன மண்டல விலகலின் முக்கியமான விளைவாக

இருந்த போதிலும் தோற்ற அடிவானத்திலும் சிறு மாறுபாடுகள் ஏற்படலாம். சூரிய உதயம் அல்லது சூரிய மறைவு நேரங்களில், எலக்ட்ரான்கள் ஒரு முப்பட்டகம் அல்லது ஓர் ஆப்பு (wedge) வடிவில் பங்கீடு செய்யப்படுவதால் இந்த விளைவு ஏற்படுவதாகக் கருதப்படுகிறது. எலக்ட்ரான் அடர்த்திகளில் இந்த நேரங்களில் குறிப்பிடத்தக்க கிழக்கு-மேற்கு சரிவுகளும் காணப்படுகின்றன. இந்த விளைவுகள் எல்லாம், மூலத்தின் தோற்ற உயரத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்களோடு ஒப்பிடும்பொழுது, மிக மிகச் சிறியவையாகும். குறைந்த அதிர்வெண்களில் துல்லியமாகக் கணக்கிடும்பொழுது இவைகளை முழுவதுமாக ஒதுக்குவது உசிதமாகாது.

### அதிக அளவு ஒழுங்கினங்களின் விளைவுகள்

இயங்கும் அயன மண்டலக் குழப்பங்கள் (T I D) 50-லிருந்து 400 கி. மீ. வரை அரை—அலை நீளங்களைப் பெற்றுக் காணப்படுகின்றன. இவைகளின் வேகங்கள் 350 மீட்டர்/வினாடி-வரை உள்ளன. நகர்வு இயக்கத்தின் (drift motion) திசை முக்கியமாகத் தெற்கு நோக்கி உள்ளது. எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகளுக்குச் சராசரிக் கோணப் பரப்பிலிருந்து எதிரொளிப்புப் பரப்பின் Rms சாய்வு ஏறத்தாழ ± 2 டிகிரி ஆகும். மேலேபார்த்தவாறு இவை அயன மண்டலத்தைக் கடந்து செல்கின்ற அலைகளின் ஃபாரடே சுழற்சியின் ஏற்ற இறங்கங்களிலும் ஏற்படும் குழப்பங்களாகும். இந்த முடிவுகளை, மொத்த எலக்ட்ரான் அளவை, ஏறத்தாழ ± 2% அளவு மாற்றியோ அல்லது முழு அயன மண்டலத்தையும் ஏறத்தாழ 1 — 2 டிகிரி அளவு சாய்த்தோ கருத்தில் கொண்டு, இறுக்கம் அடர் குறைப்பு (ஒலியைப்போல) முறையில் விளக்கலாம். அயன மண்டலத்தால் உண்டாக்கப்படும் விலகல், அயன மண்டலத்திற்குள்ளேயே தூண்டப்படும் அலை வடிவ நிகழ்ச்சிகளால் உண்டாக்கப்படும் ஒழுங்கற்ற மாறுபாடுகளுக்குட்பட்டது என்பது இதிலிருந்து தெரிகிறது. இந்த விளைவின் அளவை எளிதில் கணக்கிடலாம். மொத்தம் எலக்ட்ரான் அளவில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் இதற்குக் காரணமானால், அயன மண்டலத்தில் ஏற்படும் ஏற்ற இறக்கங்களும் (fluctuations), எலக்ட்ரான் அளவில் ஏற்படும் ஏற்ற இறக்கங்களின் அளவே இருக்க வேண்டும். அதாவது ஏறத்தாழ ± 2% இருக்கவேண்டும். மாறாக, அந்தந்த இடத்திற்குரிய சாய்வு காரணமானால், அயன மண்டலத்தைக் கதிர்கள் மோதுகின்ற கோணமும் ≈ ± 2 டிகிரி அளவே மாறும். அயன மண்டலம் மாறாமல் இருந்து, மூலத்தின் (source) உண்மையான ஏற்றக் கோணம் ± 2 டிகிரி மாறுவதாகக் கொண்டால், அப்பொழுதும் இதே அளவுதான் மாற்றம் ஏற்படுகிறது. உச்சித் தூரம் 90

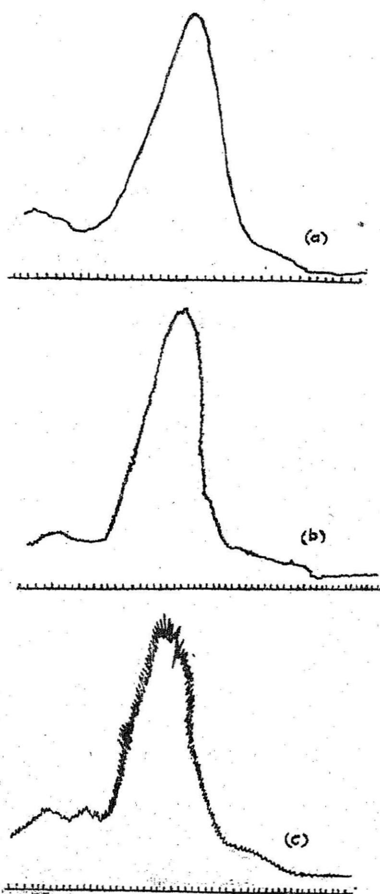
டிகிரியை அடையும்பொழுது மிக மோசமான நிலையிலும் விலகலில் எதிர்பார்க்கப்படும் ஏற்ற இறக்கம் $\approx \pm 10\%$ ஆகும்.

108 மெகா சுற்றுகள் / விநாடி -ல் ஒரு குறுக்கீட்டு விளைவு மானியைக் கொண்டு ரேடியோ மூலம் சைஜ்னஸ் *A* ஐ ஆராய்ந்த பொழுது, அதன் தோற்ற இருப்பிடத்தில் கோண மினு மினுப்பு கள் (angular scintillations) ஏற்பட்டதாக லாரன்ட்சும் அவர் கூட்டாளிகளும் கூறியுள்ளனர். 20 டிகிரிக்குக் கீழ்ப்பட்ட ஏற்றக் கோணங்களில் $\pm$ 0·5 டிகிரி வரை ஒழுங்கற்ற திசை மாற்றங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. இவைகளுக்கு T I D-கள் காரணம் என்று கருதப்படுகின்றன.

மேலே கூறப்பட்டதிலிருந்து முழு அயன மண்டலத்தாலும் ஏற்படும் மொத்த விலகலைத் துல்லியமாக முன்கூட்டியே அறிய முடிந்தாலும், 20 டிகிரிக்கு கீழே நீண்ட அலை ரேடார் ஆராய்ச்சிகளை நடத்துவது உசிதமல்ல என்று தெரிகிறது. ஃபாரடே சுழற்சி, குழுத் தாமதம் ஆகிய இரண்டும் கதிர்ப்பாதையில் தொகுனியாக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் அளவிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருப்பதால், சில பத்து நிமிடங்களில் $\pm$ 2% மாற்றங்களை T I D கொடுக்கும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். இம் மாற்றங்கள் இவற்றைவிடப் பெரியதான அன்றாட மாற்றங்களுடன் பொருந்திவிடும்.

**சிறிய-அளவு ஒழுங்கீனங்களின் விளைவுகள்**

அயன மண்டலத்தில் *F* பகுதி பரவுவதால் ஏற்படும் ஒழுங்கற்ற விலகல் இன்னும் கடுமையானதாகும். அயன மண்டலத்திலுள்ள சிறிய ஒழுங்கீனங்கள் அதைக் கடந்து செல்கின்ற தள அலை முகப்பின் ஒழுங்கற்ற கட்ட மாறுபாடுகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதன் விளைவாக அலையின் கட்டம் தரையில் ஒழுங்காக அமையாமல் ஓர் ஒழுங்கற்ற முறையில் அமையும். இந்த அமைப்புப் பொதுவாக (a) வானில் மூலத்தின் இயக்கத்தினாலும் (b) அயன மண்டலத்தின் காற்றினாலும் அசைவது போலத் தோன்றும். இந்த ஒழுங்கீனங்கள் கிழக்கு அல்லது மேற்காக நகருவதற்குக் காற்றே காரணமாகும். இதன் விளைவாகக் கட்டமும், மூலம் தொலைவில் இருந்தால் அதன் செறிவும், மாறுவதாகத் தோன்றும். இதன் விளைவின் விளக்கம் படம் 6·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது ரேடியோ மூலம் சைஜ்னஸ்-A மூன்று வெவ்வேறான இரவுகளில் தோன்றும் முறையை விளக்குகிறது.




படம் 6·6.

சைஜ்னஸ் விண்மீன் கூட்டத்தில் பதிவு செய்யப்பட்ட காட்சிகள்

80 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி—அதிர்வெண்ணுக்கு 54 டிகிரி வடக்கு அட்ச ரேகையில், சைஜ்னஸ்-A-ன் செறிவு, ஏற்றக் கோணம் 15 டிகிரிக்குக் கீழே இருக்கும்பொழுது தொடர்ச்சியாக வடக்கு நோக்கி மாற்றங்களுக்கு உட்பட்டிருந்தது. மிகச் சிறந்த நிகழ்திறன் நேரம் 25 விநாடிகளாகும். சைகைத் திறன் சராசரியாக 2·5 *db*-ல் ஏற்ற இறக்கமடைந்தது. மூலம் உச்சிக்கருகே இருக்கும்பொழுது மங்குதல் வீதம் மெதுவாக நடந்தது. (சராசரி நேரம் 1 நிமிடமாக இருந்தது.) இந்த ஏற்ற இறக்கங்களினால் ± 1·1 *db* செறிவு மாற்றங்கள் 40% நேரங்களில் நடந்தது. அதே

இடத்தில் இருந்து ப்ரௌன், ஹசார்டு ஆகியோர் சைஜ்னஸ்-A-ன் பாதையை 77 டிகிரி ஏற்றக் கோணத்தில் 159 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் ஆராய்ந்து சைகை ± 1·1 *db* வீதத்தில் மொத்தக் காட்சிப் பதிவுகளில் 4% நேரங்களிலேயே மாறியதைக் கண்டனர். மூலத்தின் சராசரி செறிவு 2% -க்குமேல் குறையவில்லை.

இந்த விளைவு *F* பகுதி பரவலுடன் நன்றாகத் தொடர்பு கொண்டிருக்கிறது. எனவே இது முக்கியமாக இரவில் நிகழ்கின்ற ஒரு நிகழ்ச்சியாகும். இது துருவப் பகுதிகளில் மிக அதிக அளவில் காணப்படுகின்றது. பூமியின் செயற்கைக் கோள்களிலிருந்து பூமி முழுவதும் *F*-ன் பரவல் நம்பத்தக்க முறையில் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இந்த நிகழ்ச்சி புவி காந்த நடுக்கோட்டில் இரவில் செறிவு மிகுந்தும், துருவப் பகுதிகளில் பகல், இரவு ஆகிய இரு நேரங்களிலும் காணப்படுகிறது. பூமியின் நடுவரைக் கோட்டில் இது தோன்றுவது அரிது.

இந்த ஒழுங்கீனங்களின் கிடைமட்ட அளவுகள் ஏறத்தாழ 4 கி. மீ. அளவில் காணப்படுகின்றன. காந்தப்புலக் கோடுகளின் திசையில் இவை நீட்சியுறுவதுபோல் தோன்றுகின்றன. காற்றின் தோற்ற வேகங்கள் 50 — 300 மீட்டர் / விநாடி — வரையில் உள்ளன. எனவே அரை—நேரத்தில் ஒன்றிலிருந்து 0·1 நிமிடம் வரை மாற்றங்கள் தென்படுகின்றன. அயன மண்டலக் காற்றுகளின் வேகத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு, பல்வேறு அதிர்வெண்களில், பல்வேறு அட்சரேகைகளில் ரேடியோ விண்மீன்களின் செறிவு மினுமினுப்புகள் ஆராயப்பட்டுள்ளன. இவைகளின் காரணத்தை நிறுவுவதற்கு, இவற்றிற்கும் மற்றப் புவியியல் கொள்கைகளுக்கும் உள்ள தொடர்புகள் ஆராயப்பட்டுள்ளன. மிதவெப்ப அட்சரேகைகளில் இந்த மினுமினுப்புகளும் *F* பகுதியின் பரவலும் ஒரே விளைவின் பல்வேறு தோற்றங்கள் என்ற கருத்து தற்பொழுது நிலவுகின்றது. இருப்பினும் *F* பகுதியின் பரவல் எதிரொளிப்புகள் இல்லாதபொழுதும்கூட மினுமினுப்புகள் நிகழக்கூடும். ஏனெனில் $F_2$ அடுக்கின் பெரும உயரத்திற்குமேல் இந்த ஒழுங்கீனங்கள் அமைந்துள்ளன. அயன மண்டலத்திற்குள் ஒழுங்கற்ற அடர்த்தி மாற்றங்கள் ஏற்படுவதற்கு எந்தவித ஒரு காரணமும் எல்லோராலும் இதுவரை ஒப்புக்கொள்ளப்படவில்லை

**உட்கவர்தல் (Absorptoin)**

(a) **கோட்பாடு**

ஓர் அணு அல்லது அயனி $E_0 Q^{iwt}$ என்ற மின்புலத்தில் அலைவுற்றுக் கொண்டிருக்கும். ஓர் எலக்ட்ரானை மோதும்பொழுது ஏற்

படுகின்ற ஆற்றல் இழப்பினுல் உட்கவர்தல் உண்டாகிறது. இப்பொழுது ஊடகத்தின் விலகல் எண் $n$-ல் இரு பகுதிகள் உள்ளன. ஒன்று உண்மைப் பகுதி; (real) மற்றென்று கற்பனைப் பகுதி (imaginary) ஆகும்.

$$n = \mu - i\psi$$

இங்கு $\mu$ என்பது விலகல் குறி ஆகும். $\psi$-உட்கவர்தல் குறி ஆகும். இவை

$$n^2 = (\mu - i\psi)^2 = 1 - X[1 \pm | Yh | - iz]^{-1} \quad \ldots \quad (21)$$

என்ற சமன்பாட்டைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

இப்பொழுது உட்கவர்தல் எண் $\alpha$ என்ற குறியீட்டைக் கொள்ளுதல் நல்லது; ஏனெனில் இந்த உட்கவர்தல் எண் ஊடகத்தில் ஓரலகு நீளத்தில் மின்புலம் $E$-ன் வீச்சு எவ்வாறு குறைகிறது என்பதை வரையறுக்கின்றது.

$$E = E_0 \, exp\,(-\alpha) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (22)$$

ரேடியோ வானியல் நிபுணர்களான பாசி (Pawsey), ஸ்மெர்ட் (Smerd) ஆகியோர் திறன் உட்கவர்தல் எண்ணைக் குறிக்க $k$ என்ற ஒரு குறியீட்டைப் பயன்படுத்துகின்றனர். இந்த $k$ ஆனது $2\alpha$-க்குச் சமமாகும். $k$-க்கும் $2\alpha$-க்கும் உள்ள வேறுபாடு இது வரை பொதுவாக விளக்கப்படவில்லை. உட்கவர்தல் எண் $\alpha$-ம், உட்கவர்தல் குறியீடு $\psi$-ம்

$$\psi = \frac{\alpha c}{2\pi f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (23)$$

என்ற சமன்பாட்டினுல் இணைந்துள்ளன. இவ்வாறு $\alpha$-ன் மதிப்பை

$$\alpha = \frac{\nu}{2c} \quad \frac{1}{(1 \pm | Yc |)} \quad \left\{ \frac{1 - \mu^2 + \psi^2}{\mu} \right\} \quad \ldots \quad (24)$$

இங்கு $\nu$ என்பது மோதல் அதிர்வெண் (collision frequency) ஆகும். தொழிற்படும் அதிர்வெண், ஜைரோ-காந்த அதிர்வெண் அல்லது மோதல் அதிர்வெண்ணைவிட மிக அதிகமாக இருக்கும் பொழுது மேற்கண்ட சமன்பாடு

$$\alpha = \frac{\nu}{2c} \quad \frac{1}{n} \quad . \frac{f_P{}^2}{\gamma^2} \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (25)$$

என்ற அளவில் சுருங்குகிறது.

*M. K. S.* அலகுகளில் வீச்சு உட்கவர்தல் எண் (amplitude absorption co-efficient) $\alpha$ என்பது,

$$\alpha = 1{\cdot}34 \times 10^{-7} \frac{N \nu}{f^{2}} \text{ நெப்பர்/மீட்டர்} \quad \ldots \quad \ldots \quad (26)$$

இங்கு $N$ என்பது ஒரு கனமீட்டரில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

மோதல் அதிர்வெண் $\nu$–ன் பொருள் விரிவாக ஆராயப் பட்டுள்ளது.

$$\nu eff = \frac{3{\cdot}65 N}{T^{\frac{3}{2}}} \left[ 19{\cdot}8 + \log_{e} \left( \frac{T^{\frac{3}{2}}}{f} \right) \right] \ldots \quad \ldots \quad (27)$$

என்ற சமன்பாடு செயலுறு அதிர்வெண்ணுக்குப் பெறப்பட்டுள்ளது. இங்கு $T$ என்பது பிளாஸ்மா வெப்பநிலையாகும். பூமியின் அயன மண்டலத்தில் மோதல் அயனிகளுடனும், நடுநிலைத் துகள்களுடனும் நடைபெறுகின்றது. எனவே செயலுறு மோதல் அதிர் வெண்ணில் இரு உறுப்புகள் உள்ளன.

$$\nu\, eff = \nu ea + \nu\, ei \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (28)$$

இதை $\nu\, eff = 1{\cdot}8 \times 10^{-8} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{1}{2}} Na + 6{\cdot}1 \times 10^{-3}$

$$\left( \frac{T}{300} \right)^{-\frac{3}{2}} N_i \quad \ldots \quad \ldots \quad (29)$$

இங்கு $N_a$, $N_i$ என்பன ஒரு கன செ. மீட்டரில் உள்ள நடுநிலைத் துகள்களையும், அயனிகளையும் குறிக்கும். அயனிகளின் குறுக்குப் பரப்பு அதிகமாக இருப்பதால் அவை நடுநிலைத் துகள்களைவிட அதிகமான விளைவை உண்டு பண்ணும். சமன்பாடு (21). ஆப்பிள்டன் — ஹார்ட்ரி காந்த அயனிச் சமன்பாடு என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது $f >> \nu$ ஆக இருக்கும்பொழுது மட்டு மாவது, அதிர்வெண் $\nu$ சராசரி அல்லது செயலுறு மோதல் அதிர் வெண்ணைப்போல் $\frac{4}{3}$ பங்கு இருந்தால் விலகல் எண்ணின் மதிப்பை ஏறத்தாழக் கொடுக்கிறது. ஒரு மோதலின்பொழுது எலக்ட்ரானால் இழக்கப்படும் ஆற்றல் அதன் திசைவேகத்தின் சார்பலனாக இருப்பதால் உட்கவர்தலை ஒரு குறிப்பிட்ட திசை வேகத்திற்குக் கணக்கிட்டு பிறகு பிளாஸ்மாவில் உள்ள உண்மையான திசைவேகப்

பங்கீடுகளுக்கு அவற்றின் மொத்தத்தைக் காண்பதே சரியான முறை என்று சென் (Sen) கூறியுள்ளார்.

(b) D-பகுதி உட்கவர்தல்

$f >> f_H$ அல்லது $f_P$ ஆக இருக்கும்பொழுது அயன மண்டலத்தின் $D$ பகுதியில் உட்கவர்தல் நிகழ்கிறது. $D$ பகுதி உள்ள உயரங்களில் $f_H$, $f_P$, $\nu$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் $10^6$ சுற்றுகள்/விநாடி அளவில் உள்ளன. இந்நிலையில் விலகல் எண் $n \longrightarrow 1$ ஆகிறது. இப்பொழுது உட்கவர்தல் திசை திருப்பமற்ற உட்கவர்தல் என அழைக்கப்படுகிறது. மொத்த உட்கவர்தல் $A = \int kds$ ஆனது சமன்பாடு (26)-லிருந்து

$$A = \frac{1 \cdot 16 \times 10^{-6}}{f^2} \int_{h_1}^{h_2} N \cdot \gamma \cdot ds \text{ டெசிபல்கள்} \quad \ldots \quad (30)$$

க்குச் சமம் எனக் காட்டலாம். ஏனெனில், ஒரு நெப்பர் = 8·686 டெசிபல்கள் ஆகும்.

மிதவெப்ப அட்சரேகைகளில் இயல்பான பகலில் $A \approx \cdot 05\ db$ என்றும், இரவில் $A \approx \cdot 005\ db$ என்றும் லாரன்ஸும் அவர் கூட்டாளிகளும் கணக்கிட்டுள்ளனர். இந்த மதிப்புகள் $f = 100$ மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-க்குப் பொருந்தும். முறணிய (Anomalous) முறையில் இன்னும் அதிகமான மதிப்புகள் ($a$) துருவ ஒளி நிகழ்ச்சிகள் (Auroral-events), ($b$) துருவப் பரப்பு நிகழ்ச்சிகள் (Polar cap events), ($c$) செறிவு நிறைந்த சூரிய தீக்கொழுந்துகள் ஆகியவைகளின்பொழுது கிடைக்கின்றன. செங்குத்துப் படுகையில் 30 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் ஒரு குறிப்பிட்ட உட்கவர்தல் நிகழ்கிறதென்றும் அதன் மதிப்பு 3 $db$ என்றும் லாரன்ஸும் அவரது கூட்டாளிகளும் கூறியுள்ளனர். மிக அதிகமான புவிகாந்த அட்சரேகைகளில் (60 டிகிரி புவிகாந்தக் கோட்டிற்கும் வடக்கே) சூரியப்புள்ளி நிகழ்ச்சி பெருமமாக இருக்கையில் துருவப் பரப்பு நிகழ்ச்சிகள் தோன்றுவதாகத் தெரிகிறது. அவைகள் சில நாட்கள் நீடிக்கக்கூடும். அப்பொழுது பகலில் உட்கவர்தல் இரவில் உட்கவர்தலைப்போல் $\sim 5$ மடங்கு இருக்கும் வலுவான நிகழ்ச்சிகளில் செங்குத்துப் படுகையில் 100 மெகா சுற்றுகள்/விநாடியில் 1 $db$ உட்கவர்தல் நிகழும்.

தற்பொழுது உட்கவர்தல் விளைவுகளைப் பற்றிய சிறந்த முடிவுகள் பல்வேறு ஆராய்ச்சியாளர்களால் வெளியிடப்பட்டுள்ள. $UHF$-ல் உட்கவர்தல் அதிர்வெண்ணின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தில்

உள்ளது. சோதனைகள் மூலம் இன்னும் சோதிக்கப் படவில்லை. பல்வேறு சோதனைகளிலிருந்து முக்கியமான உட்கவர் பகுதி $D$-பகுதியே என்று தெரிய வந்துள்ளது. சில சோதனைகளிலிருந்து மட்டும் $F$-பகுதியினுலும் சிறிது உட்கவர்தல் நிகழ்கிறது என்பது தெரிகிறது. அண்மைக் காலத்தில் வெகு தொலைவில் உள்ள காஸ் மிக் [ரேடியோ மூலங்களிலிருந்து வருகின்ற சைகைகளின் அடிப் படையில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளை ஆதாரமாகக் கொண்டு அயன மண்டலத்தின் உட்கவர்தலை அளக்கலாம். மிதவெப்ப அட்சரேகைகளில் 20 மெகா சுற்றுகள்/வினுடி-க்கு அருகே அலை களின் பெரும உட்கவர்தல்/லிருந்து $2db$ வரையிலேயே இருக்கும். இதில் குறைந்தது $1 db$, மதியத்தில் $D$ பகுதியினுல் உண்டாவ தாகும். உட்கவர்தல் சூரியனின் உச்சிக்கோணம் $\psi_s$ மாறும் பொழுது தானும் மாறுபடும். இது $\{ \alpha$ (காஸ் $\psi_s)^m \}$ என்ற விதிப்படி நடைபெறுகிறது. கோடைக்காலம் முழுவதும் $\psi$-ன் மதிப்பு ஏறக்குறைய ஒன்ருகிறது. குளிர்காலத்தில் ஏறத்தாழ 0·5 ஆகிறது. 30 மெகா சுற்றுகள்/வினுடி-ல் உட்கவர்தல் அரிதாக 0·5 $db$ ஐ அடைகிறது. இதில் 0·2 $db$, $D$ பகுதியில் ஏற்படுவ தாகும்.

F-பகுதி உட்கவர்தல்

உட்கவர்தல் $\alpha$-க்குரிய சமன்பாடு (24)-லிருந்து, விலகல் எண்ணின் மதிப்பு ஒன்றிலிருந்து மாறுபட்டிருக்கும்பொழுது

$$\alpha = \frac{\nu}{2c} \quad \frac{1}{(1 \pm | Yz |)} \quad \left\{ \frac{1}{\mu} - \nu \right\} \quad \ldots \quad \ldots \quad (31)$$

என்ற சமன்பாடு பெறப்படுகிறது. இங்கு $\psi^2 \angle \angle (1 - \mu^2)$ என்று கொள்ளப்பட்டுள்ளது.

$\mu \neq 1$ என்றிருக்கும்பொழுது உட்கவர்தல் திசைமாற்ற உட்கவர்தல் (deviative absorption) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது ரேடியோ அலை அதிர்வெண் $f$, பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_P$ ஐ விடச் சிறிது அதிகமாக இருக்கும்பொழுது நிகழ்கிறது. இந்த நிலையில் $f >> \nu$ ஆக இருக்கும்பொழுதும், அலை $F$-பகுதியில் அதிக நேரம் செல்வதால் உட்கவர்தல் மிக அதிகமாக இருக்கும். அயன மண்டலத்தில் செல்கின்ற ஓர் அலையும் திசை மாற்று உட்கவர்தல் $F$ பகுதியின் மாறுநிலை அதிர்வெண்ணைவிடச் சிறிது அதிகமான அதிர்வெண்ணிலேயே நிகழக்கூடும்.

சூரியப்புள்ளி நிகழ்ச்சியின் பொழுது $F$-பகுதியில் உட்கவர்தல் $D$-பகுதியில், இடையூறற்ற பகலில் உள்ள உட்கவர்தலைப்போல

அமையும். பொதுவாக, 100 மெகா சுற்றுகள்/விஞடியில் உட்கவர்தல் ~0·3 *db*-க்கும். 0·03 *db*-க்கும் இடையில் இருக்கும்.

**கோள்களுக்கிடையே உள்ள பிளாஸ்மாவினுல் விளைவுகள்**

ரேடியோ அலைகள் பூமியின் வழி மண்டலத்தினூடே பரவும் பொழுது அவற்றில் வளி மண்டலத்தினுல் ஏற்படும் விளைவுகளைப் பற்றிப் பார்த்தோம். நிலா, புதன், செவ்வாய் ஆகியவற்றின் வளி மண்டலங்கள் பூமியின் வளி மண்டலத்தை விட மிகவும் அடர்வு குறைந்திருப்பதால் அவற்றின் விளைவுகளை ஒதுக்கிவிடலாம். இதுவரை ஆராயப்பட்டுள்ள கோள்களில் வெள்ளியின் வளி மண்டலம் மட்டுமே கணிசமான அளவு விளைவுகளைத் தோற்று விக்கக்கூடும். ஆனுல் துரதிருஷ்ட வசமாக வெள்ளியின் வளி மண்டலத்தைப்பற்றி மிகக் குறைவான அளவே நாம் தெரிந்து கொண்டிருக்கிரும். எனவே இதன் விளைவுகளைப் பற்றி முன் கூட்டி அறிவிக்க முயல்வது இயலாது.

கோள்களுக்கிடையே ஒரு கன செ மீட்டரில் ~ 10 எலக்ட் ரான்கள் வரை அவற்றின் அடர்த்தி உள்ளது. இந்த எலக்ட் ரான்கள் புரோட்டான்களுடன் தொடர்ச்சியாகச் சூரியனிலிருந்து வீசப்பட்டுள்ளன. இவற்றிற்குச் சூரியக்காற்று (Solar wind) என் பது பெயர். இந்தப் பிளாஸ்மாவின் சராசரித் திசைவேகம் ஏறத்தாழ 400 கி. மீ./விஞடி ஆகும். ஆனுல் இது குழப்பமடைந்த சூரிய நிலைகளில் அதிகரிக்கிறது. மிகவும் குழப்பமான நிலைகளில் இத் திசைவேகம் 1000 கி. மீ /விஞடி-க்கும் அதிகரிக்கிறது. சராசரி அடர்த்தி $N$, 5 எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ. 3 — எனக் கொண்டு, பிளாஸ்மாவினுல் உண்டாகின்ற காலதாமதம் $\triangle T$ ஐச் சமன்பாடு (28) ஐக் கொண்டு நிர்ணயிக்கலாம். இது 100 மெகா சுற்றுகள்/ விஞடியில் ~ 16 $\mu$ விஞடி/$AU$ ஆகும். மாரினர் II ஐக் கொண்டு எடுக்கப்பட்ட அளவீடுகள் சூரியப்புள்ளி சுழற்சியில் அமைதியான பகுதியில் எடுக்கப்பட்டதாகக் கொண்டும், அப் பொழுது அடர்த்தி அதிகமான பகுதிகள் இருந்தன என்று கொண்டும் கணக்கிடும்பொழுதுகூட பிளாஸ்மா காலதாமதக் கோட்பாடுகளை விளக்குவதில் இடையூறுகளை உண்டாக்கும் என்று கருதுவதற்கு இடமில்லை.

கோள்களுக்கிடையே உள்ள பிளாஸ்மாவினுல் ஏற்படும் தாமதத்தை விளக்கத் துல்லியமான அளவீடுகள் தேவை என்று கருதினுல் பிறகு கோட்பாட்டிற்காவது (1) இரு அதிர்வெண் களில் சமஅளவு துல்லியமான அளவீடுகளை ஒரே சமயத்தில் செய்து அவற்றிலிருந்து ஒப்புமை முறையில் பிளாஸ்மாவின் விளை

வைக் காணவேண்டும். அல்லது (2) பரப்பப்படும் அலையின் அதிர்வெண்ணைத் தேவையான அளவு உயர்த்தி பிளாஸ்மாவின் விளைவைத் தள்ளத்தக்க அளவு குறைக்கவேண்டும்.

பிளாஸ்மாவின் வழியே ரேடார் பாதையை மாற்றியும் கால தாமத அளவை மாற்றலாம். இதனால் எலக்ட்ரான் அடர்த்தியில் இடத்திற்கு இடம் ஏற்படும் மாறுதல்கள் கதிரின் பாதையை வளைவாக ஆக்கிவிடும். கோள்களுக்கு நடுவில் ஏற்படுகின்ற வளைவினால் ஒரு கொடுக்கப்பட்ட கோண மாற்றத்திற்குப் பாதையின் நீளம் பெருமளவு மாற்றப்படும். இந்நிலையில் பிளாஸ்மா ஆப்பு (Plasma wedge) பாதையின் நீளத்தில் ஏற்படுத்தும் சிறிய மாறுபாட்டை

$$\frac{\triangle R}{R} \approx 2 \times 10^{14} \left\{ \frac{\text{சைன் } \beta}{\text{காஸ் } (\phi - \beta) \cos \phi} \right\}^2 \frac{N_1^2}{f^4} \quad \ldots \quad (32)$$

இங்கு $\phi$ என்பது ஆப்பில் நாடார் அலையின் படுகோணத்தைக் குறிக்கும். $\beta$, ஆப்புகளின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள கோணத்தைக் குறிக்கும். $N_1$ என்பது ஆப்பினுள்ளே பிளாஸ்மா அடர்த்தியைக் குறிக்கும். (வெளியில் அடர்த்திச் சுழி என்று கொள்ளப்படுகிறது) இந்த விளைவிற்கு எடுத்துக்காட்டாக எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $N_1 = 10^3$ எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ.$^3$ உடைய ஓர் ஆப்பைக் கவனிப்போம். இத்தகைய ஓர் ஆப்பு 100 மெகா சுற்றுகள் / வினாடி-ல் பாதையின் நீளத்தில் $\frac{1}{10^{10}}$ மடங்கு மாற்றத்தைத் தோற்றுவிக்கும் ($\phi$-ன் மதிப்பு 90 டிகிரிக்கு அருகாமையில் இருக்கும் நேரம் தவிர). இதிலிருந்து கால தாமதத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்களைத் தள்ளிவிடலாம் எனத் தெரிகிறது.

ராடார் ஆன்டென்னுவிற்கும், இலக்காக உள்ள கோளின் பரப்பின் அண்மைப் புள்ளிக்குமிடையே உள்ள ஊடகமும் டாப்ளர் பெயர்ச்சிகளைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த டாப்ளர் பெயர்ச்சிகளின் மதிப்பு வெற்றிடத்தில் கிடைக்கும் மதிப்புகளிலிருந்தும் மாறுபடும். குறிப்பாக இடைப்பட்ட ஊடகத்தில் ஏற்படும் ஒழுங்கான மாற்றங்கள் டாப்ளர் பெயர்ச்சியிலும் குறிப்பிடத்தக்க மாறுதல்களை உண்டாக்கும். ஆனல் ஒழுங்கற்ற முறையில் ஊடகத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் டாப்ளர் பெயர்ச்சியைப் பாதிப்பதில்லை; மாருக, பெறப்படும் மாலையின் அகலத்தை அதிகரிக்கின்றன.

கோள்களுக்கிடையே உள்ள ஊடகத்தில் ஒழுங்காக ஏற்படும் மாறுதல்களினல் உண்டாகும் டாப்ளர் பெயர்ச்சிகளின் விளைவு

களை விளக்குவதற்கு, ஒரு ராடார் அலைப் பாதையின் செங்குத்தான திசையில் செல்லுகின்ற ஒரு பிளாஸ்மா ஆப்பைக் கவனிப்போம். இத்தகைய இயக்கும் டாப்ளர் பெயர்ச்சியில் பெரும இடப்பெயர்ச்சியை அது உண்டாக்குகிறது. அதன் அளவு

$$|\delta(\triangle t)| = \frac{v_p}{c}\left[\frac{8 \cdot 2 \times 10^7 N_1}{f}\right] \text{டான்} \left(\frac{\beta}{2}\right) \quad \dots \quad (33)$$

இங்கு $v_p$ என்பது பிளாஸ்மாத் திசைவேகம்

$N_1$ = ஆப்பினுள் பிளாஸ்மா அடர்த்தி

$\beta$ = ஆப்பின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள கோணம்

$N_1 = 10^8$ எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ.$^3$, $\beta = 30$ டிகிரி,

$v_p = 300$ கி. மீ./வினாடி, ஆனால்

$\frac{|\delta(\triangle f)|}{f} \approx 2 \times 10^{-9}$. இது 100 மெகாற்று/வினாடி-ல் பொருந்துகிறது. இது தள்ளத்தக்க அளவாக இருந்தாலும் இதன் மதிப்பை மேலும் குறைக்க முடியும்.

வெள்ளி வியாழன் ஆகிய கோள்கள் இலக்காக (target), இருக்கும்பொழுது அவற்றின் அயன மண்டலங்களால் டாப்ளர் பெயர்ச்சியில் ஏற்படும் விளைவானது மிகவும் கடுமையானதாகும். அவற்றைக் கணக்கிடுவதும் கனடிமாகும். இருந்தபோதிலும் கோளின் வளிமண்டலத்தில் செங்குத்தாகப் படுகின்ற ராடார் அலைகள் மட்டுமே பூமியின் மீதுள்ள ஆன்டென்னாக்களால் அறியப்படும் எதிரொளிப்புகளைக் கூடுமான அளவு ஊக்குவிக்கின்றன. ஆகவே செங்குத்தாகப் படுகின்ற ராடார் அலைகளின் பாதையில் தொகுனியாக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தியே டாப்ளர் பெயர்ச்சியில் ஒழுங்கான மாறுதல்களைத் தோற்றுவிக்க முடியும். ஏனெனில் தொடர்ச்சியாகச் செல்கின்ற அலைகள் கோளின் பரப்பில் அடுத்த அடுத்த பகுதிகள் வழியே செல்லும். ஒரு மணி நேரத்திற்கு 10% மாற்றங்களுக்கு இரு திசைகளிலும் உள்ள விளைவு $\frac{\delta(\triangle f)}{f} = 2 \times 10^{-9}$ அதாவது $f = 10\ Mc/$ வினாடி என்றும், தொகுனியாக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $2 \times 10^{15}$ எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ.$^3$ என்றும் கொள்ளும்பொழுது இந்த மதிப்புப் பெறப்படும். இந்தக் கணக்கீடு வெள்ளிக்கு உண்மையாகவே பெறப்படுகின்ற மதிப்பைவிட மிக மிக அதிகமாகும்.

வியாழனைப்பற்றி எதுவும் கூற இயலவில்லை. எனினும் மேலே சொல்லப்பட்ட நிலைகளுக்கு வியாழனில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்களுக்கு ஒரே சமயத்தில் அளவீடுகளை எடுத்து விளைவைக் கணக்கிடலாம். சரியாகக் கூறவேண்டுமானால் இந்த மதிப்பு பூமியின் அயன மண்டலம், கோளின் அயன மண்டலம், இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட ஊடகம் ஆகியவற்றின் மொத்த விளைவுகளையே கொடுக்கும்.

**சூரியனுக்கருகாமையில் கதிரின் பாதைகள்**

ஒரு ராடார் ஏற்பியின் அமைப்பு வெப்பநிலையில் சூரிய இரைச்சலின் (solar noise) விளைவு பிறிதொரு பகுதியில் கூறப்பட்டுள்ளது. பெரும்பாலும் ஒரு கோளைச் சூரியனினின்றும் மாறுபட்ட வேறொரு திசையிலேயே ஆராய்வது சிறந்ததாகும். ஆனால் எல்லாச் சூழ்நிலைகளிலும் இது முடியாமல் போகலாம். இதற்கு உதாரணமாக, பொதுச் சார்புக் கொள்கையின் (general theory of relativity) ராடார் சோதனையைக் கூறலாம். இச் சோதனையில் ஒரு திசைநிலைச் சேய்மையில் (superior conjunction) வெள்ளி அல்லது புதனில் துடிப்புப் பரவலின் திசை வேகத்தில் சூரியனின் ஈர்ப்புப் புலம் ஏற்படுத்துகின்ற விளைவை ஆராயத் தொலைவு அளவீடுகள் செய்யப்படவேண்டும். ஆகவே இப் பகுதியில் சூரிய ஒளி வட்டத்தால் (carona) பிளாஸ்மாவில் ஏற்படும் விளைவுகளைக் கவனிப்போம். சார்புக் கொள்கை சம்பந்தப்பட்ட சோதனைகளில் இந்த விளைவுகள் இடையூறு விளைவிப்பனவாகக் கருதப்பட்ட போதிலும், ஒளி வட்டத்தை ஆராய்வதில் அவை சிறந்த பயனைத் தருகின்றன.

சூரிய ஒளி வட்டத்தில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி, கிரகணத்தின் பொழுது, ஒளி வட்ட எலக்ட்ரான்களால் வெள்ளை ஒளி அடையும். தாம்ஸன் சிதைவைக் கவனித்து இது கணக்கிடப்படுகிறது. இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளால் ஏற்பட்ட ஒரு விதி ஆலென் — பாம்பாக் அமைப்பு (Allen — Baumbach model) என்று அழைக்கப்படுகிறது. அதன்படி,

$$N_\rho = (1{\cdot}55\ \rho^{-6} + 2{\cdot}99\ \rho^{-16}) \times 10^{14}\ \text{எலக்ட்ரான்/மீ.}^3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (34)$$

இங்கு $\rho$ என்பது சூரியனின் மையத்திலிருந்து சூரிய ஆர அலகுகளில் ($R_\odot$) அளக்கப்படும் தூரமாகும். கிராப் நெபுலாவின் (Crab Nebula) இரகசியங்களைப் பற்றிய ரேடியோ வானியல் சோதனைகளைக் கொண்டு எரிக்ஸன் என்பவர்,

$$N_\rho = 5\ P^{-2} \times 10'' \text{ எலக்ட்ரான்கள்}/\text{மீ.}^3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (35)$$

என்ற மதிப்பைப் பெற்றுர். இது $\rho = 4R_\odot$-லிருந்து, $P = 20R_\odot$ வரை பெறப்பட்ட மதிப்பாகும். இன்னும் குறைந்த தூரங்களில் $\rho$ குறையும்பொழுது $N_\rho$ விரைவாக அதிகரிக்கிறது. ஆனுல் மிக அதிகமான தூரங்களில் $\rho$ அதிகரிக்கும்போது $N_\rho$ விரைவாகக் குறைகிறது. சூரிய நிகழ்ச்சி பெருமமாக இருக்கும்பொழுது $N_\rho$-ன் மதிப்பு, சமன்பாடு (35) ஆல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளதைப்போல 5 பங்கு அதிகமாகிறது என்று எரிக்ஸன் காட்டியுள்ளார். ஹேரிங்டன் போன்ற மற்ற ஆராய்ச்சியாளர்களும் சூரியனின் அருகே கதிர் செல்லும்பொழுது அதில் பிளாஸ்மா விளைவை ஆராய்ந்துள்ளனர். ஒவ்வொருவரும் சமன்பாடுகள் (34), (35) ஆகியவற்றுல் கொடுக்கப்படும் எலக்ட்ரான் அடர்த்திப் பங்கீட்டையுடைய கோள வடிவ அமைப்பினுல் சூரியன் சூழப்பட்டுள்ளதாகக் கற்பிதம் செய்து கொண்டனர். இருந்தபோதிலும் இந்த விதிகள் அண்டவெளியில் நிகழும் சராசரி நிகழ்ச்சியையே குறிக்கின்றன; சூரிய ஒளி வட்டத்தில் காணப்படும் பல் படித்தான (heterogeneous) நிகழ்ச்சிகளைக் கொள்வதில்லை. இவ்வாறு இச் சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறப்படும் எந்த முடிவும் இந்த விளைவின் அளவை ஏறத்தாழக் குறிப்பதாகவே அமையும். சூரிய ஒளி வட்டத்தைக் கடந்து செல்கின்ற ரேடியோ அலைகள் சிதறடிக்கப் படுகின்றன என்பதும், இந்தச் சிதறலுக்குக் காரணம், அடர்த்தியில் உள்ள பல் படித்தான தன்மைகளே என்பதும் மட்டும் இதுவரை சோதனைகள் மூலம் அறியப்பட்டுள்ளன. உண்மையில் இந்தக் காட்சிப் பதிவு, சமன்பாடு (35) ஐப் பெறக் காரணமாக இருந்தது. ஒரு தொலைவிலுள்ள மூலத்திலிருந்து வருகின்ற ஒரு கதிர்க் கற்றை, சூரிய ஒளி வட்டத்தை விட்டு வரும்பொழுது.

$$P(\phi) \propto exp\,(-\phi/\phi_0)^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (36)$$

என்ற விதியினுல் கொடுக்கப்படும் கோணப் பங்கீட்டைப் பெற்று அமையும். $\phi_0$ என்பது கோண மினுமினுப்பு மாலையின் அரை அகலத்தின் அளவாகும். சூரிய ஒளி வட்டத்தின் வழியே செல்லுகின்ற கதிர்ப் பாதைகளுக்கு

$$\phi_0 = \frac{K \cdot \lambda^2}{\gamma n} \text{ வில்லின் நீமிடம்} \quad \ldots \quad \ldots \quad (37)$$

என்ற சமன்பாடு நிறுவப்பட்டுள்ளது. இதற்கு $\gamma$ என்பது $R_\odot$ அலகில், சூரிய மையத்திலிருந்து சூரிய ஆரத்தில் பாதையின்

இடப் பெயர்ச்சியாகும். $\lambda$ என்பது மீட்டர்களில் ரேடியோ அலை நீளமாகும். $\phi_0$ என்பது $\lambda^2$ ஐப் பொறுத்துள்ளது என்பது கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் கூறப்பட்டு, சோதனைகள் மூலம் நிறுவப் பட்டுள்ளது. மாருக, $K$. $n$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளிய் வேறுபாடுகள் காணப்பட்டன. இவ்வாறு எரிக்ஸன், $n = 2$ என்றும், $K = 50$ என்றும் கூறுகிருர். இதற்கு முன்பு செய்யப்பட்ட சோதனைகளில் $1{\cdot}3 < n < 2{\cdot}2$ என்றும் $K \approx 11$ என்றும் பெறப் பட்டன. $K, n$ ஆகியவை எலக்ட்ரான் அடர்த்தி மாறுபாடுகளைப் பொறுத்துள்ளதால் சூரிய நிகழ்ச்சியின் பல்வேறு நிலைகளில் இவற்றின் மதிப்புகள் மாறலாம்.

ஆலென்-பாம்பாக் ஒளி வட்டத்தில் செல்லுகின்ற ஒரு கதிரின் விலகல்

$$\theta = \frac{76\lambda^2}{\gamma^3} \text{ வில்லின் நிமிடங்கள்} \quad \ldots \quad (37)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது. $\lambda = 3$ மீட்டர்

(அதாவது $f = 100$ மெகா சுற்றுகள்/விடி) ஆக இருக்கும் பொழுது மினு மினுப்பு, விலகல் ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் பெறப் பட்டுள்ளன. $\gamma = 10R_{\odot}$ ஆக இருக்கும்பொழுது அரை அகல மினு மினுப்பு $\phi_0 = 3$ நிமிடங்கள் (3 ), விலகல் $\theta = 1$ நிமிடம். $r = 5\ R_{\odot}$ ஆனுல் இவற்றின் மதிப்புகள் முறையே 6 நிமிடம், 4 நிமிடம் ஆகும். 2·5 சூரிய ஆரத்தில் விலகல் அதிகமாகிறது. $\phi_0 = 19'$, $\theta = 34'$. கதிரின் விலகல் சூரியனிலிருந்து வேறு திசையை நோக்கிச் செல்கிறது. கதிர்கள் சிதறல் சைகையில் சிறிதளவு மெலிப்பானைத் தோற்றுவிக்கிறது.

சூரிய ஒளி வட்டத்தில் ஃபாரடே சுழற்சியின் அளவை முன் கூட்டியே கூறுவது கடினமாகும். ஏனெனில், சூரியப் புலத்தின் தன்மை இது வரை இரகசியமாகவே இருக்கிறது. பொதுவாக, சூரியப் புலத்தின் எளிய அமைப்பு ஓர் இருமுனைப் புலமாகக் கருதப் படுகிறது. இந்த இருமுனையின் துருவங்கள் ஏறத்தாழ சூரியனின் சுழல் அச்சுடன் அமைந்துள்ளன. ஒளிப்புரையில் (photosphere), துருவங்களில் இப்புலன் செறிவு ஒரு சில காஸ்கள்தான் உள்ளது. சோதனைகளில் பெறப்பட்ட காட்சிப் பதிவுகளிலிருந்து இந்த எளிய அமைப்பு மறுக்கப்படவில்லை; ஆனுல் புலத்தின் துருவத் தன்மை 1930-லிருந்து மூன்று தடவைகள் மாறியுள்ளன. வெளிவிடு கோடுகளில் (emission lines) சீமான் பிரிவை (split) ஆராய்ந்து

செய்யப்பட்ட நிறமாலை அளவீடுகளிலிருந்து சூரியப் புள்ளிகளுக் கருகே பல ஆயிரக்கணக்கான காஸ் செறிவுள்ள உள்ளிடப் புலங்கள் (localised fields) இருப்பதாகத் தெரிகிறது.

ஒளிப்புரையிலிருந்து தொலைவில் உள்ள காந்தப் புலத்தை சூரியக்காற்று எடுத்துச் செல்வதாகக் கருதலாம். எனவே சூரிய னிலிருந்து அதிகமான தூரங்களில் இப்புலம் மிகவும் ஒழுங்கற்று இருக்கும். அண்மையில் நேரடியாகச் செய்யப்பட்ட சோதனைகளி லிருந்து இப்புலம் பூமியின் அளவில் உள்ள தூரத்தில் சுருள்வில் திசையில் செல்வதாகவும் செறிவு $10^{-5}$ காஸ் இருப்பதாகவும் தெரிகின்றது. சூரியனின் தோற்றத் தளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில் வலிமையான கூறுகளும் புலத்தின் திசைகள் மாறுவதும் அறியப்பட்டுள்ளன. இந்த மிகச் சொற்ப செய்தியிலிருந்து சூரிய புலத்தின் தன்மையை அறிவது கடினமாகும். ஹேரிங்டன் என்பார் சூரியப் புலத்தை ஆரக்கால் புலம் (radial field) என்றும், சமச்சீர் உள்ளது (symmetric) என்றும் கொண்டு, செறிவிற்கு

$$H(r) = \frac{H_0}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (38)$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பெற்றார். இங்கு $H_0$ என்பது பரப்பின் செறிவாகும். இது $1-10$ காஸ்கள் வரை இருக்கும். 1·5 சூரிய ஆரத்திற்கு அப்பால் உள்ள பகுதிகளில் ஆலென்-பாம்பாக் சமன் பாட்டின் (34) 16 அடுக்குள்ள உறுப்பைப் புறக்கணித்து விடலாம்.

அடர்த்தியை,

$$N_\rho = \frac{10^{14}}{\rho^6} + \frac{10^{12}}{\rho^2} \text{ எலக்ட்ரான்கள்/மீ.}^3 \quad \ldots \quad (39)$$

என எழுதலாம். இச் சமன்பாட்டையும் சமன்பாடு (38) ஐயும் சேர்த்து. ஃபாரடே சுழற்சிக்கான சமன்பாடு (11)ஐச் சூரியனுக்கு வெகு அருகே $r$ தொலைவில் கதிர் இரு திசைகளிலும் செல்லும்பொழுது

ஃபாரடே சுழற்சி

$$\Omega = \frac{7{\cdot}53 \times 10^3}{f^2} \int_r^\infty \left\{ \frac{10^{14}}{\rho^6} + \frac{10^{12}}{\rho^2} \right\} \frac{H_0}{\rho^2}\, d\rho.$$

$$= \frac{7{\cdot}53 \times 10^3}{f^2} H_0 \left[ \frac{10^{14}}{7r^7} + \frac{10^{12}}{3r^3} \right]$$

சுழற்சிகள் ... ... (40)

சூரியனுக்கருகே $r = 10\,R_{\odot}$ தொலைவில் செல்லுகின்ற கதிர்களுக்கு, சூரிய ஒளி வட்டத்தில் இந்த அடிப்படையில் பெறப்படும். ஃபாரடே சுழற்சி பூமியின் அயன மண்டலத்தில் பெறப்படும் சுழற்சியைவிட அதிகமாக இருக்கும். சூரியனுக்கு அப்பால் இருக்கும் இலக்குகளுக்கும் (எடுத்துக்காட்டாக புதன் ஒருதிசை நிலை சேய்மையில் இருக்கும் பொழுது) ஆரக்கால் முறையில் சமச்சீர் உள்ள ஓர் அமைப்பிற்கும், சூரியனுக்கு அருகே உள்ள புள்ளிக்கும் இலக்கிற்கும் இடையே ஒரு சமமான எதிர்ச் சுழற்சி இருக்கும். இந்த எதிர்ச் சுழற்சி, பாதையின் முதல் பகுதியில் உண்டாக்கப்பட்ட சுழற்சியை ஈடுசெய்து விடும். ஆகவே ஃபாரடே சுழற்சியை இந்நிலைகளில் கணிப்பதற்கு இன்னும் சிறந்த அமைப்பு தேவைப்படுகிறது.

சமன்பாடு (30)-ல் அதிர்வெண் $f$ ஐ ($f$ ஆனது பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_P$ ஐயும் ஜைரோ காந்த அதிர்வெண் $f_H$ அல்லது மோதல் அதிர்வெண் $\gamma$ ஐ விட அதிகமாக இருக்கும் பொழுது) உடைய ஓர் அலைக்கு உட்கவர்தலை டெசிபல் அலகில் தோராயமாகக் கூறினோம். சூரிய ஒளி வட்டத்தில் செயலுறு மோதல் அதிர்வெண்ணைச் சமன்பாடு (27)-ன் அடிப்படையில் பெறலாம் என்று கூறினோம். இந்த அதிர்வெண்,

$$\gamma \approx 5 \times 10^{-5}\, N T^{-\frac{3}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (41)$$

எனப் பெறப்பட்டது. இங்கு $T$ என்பது பிளாஸ்மாவின் இயக்க வெப்பநிலை $N$ என்பது மின் அடர்த்தி/மீட்டர் $^{2}$.

சமன்பாடுகள் (30), (41) ஆகியவற்றைச் சேர்த்துத் திறன் உட்கவர்தல் எண்ணை,

$$A \approx \frac{5 \times 10^{-5}}{f^2} \int_{\rho_1}^{\rho^2} N^2\, T^{-\frac{3}{2}}\, db \quad \ldots \quad \ldots \quad (42)$$

என்று பெறலாம். 100 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி — அதிர்வெண்ணுக்கும், $10^6$ டிகிரி கெல்வின் வெப்ப நிலைக்கும் இதன் மதிப்பு $10^{-36}\, N^2\, db$/மீட்டர் என்றாகிறது. மொத்த உட்கவர்தல் $A_r$ (சூரியனிலிருந்து தொலைவு $r$-ல் செல்கின்ற ஒளிக்கதிருக்கு),

$$A_r = 2 \int_r^{\infty} k\, ds = \frac{10^{-4}}{f^2} \int_r^{\infty} N^2 T^{\frac{3}{2}}\, ds \text{ டெசிபல்} \quad \ldots \quad (43)$$

என்று பெறப்படுகிறது. (43)-ன் மதிப்பைப் பெறுவதற்கு ஹேரிங்டன் என்பவர் ஆலென்-பாம்பாக் அடர்த்தி மாறுபாட்டையும் [சமன்பாடு (3·4)] $T = 10^6\ k$-ம் கொண்டு

$$A_r = \left[\frac{24}{r^{11}} + \frac{0{\cdot}6}{r^7} + \frac{0{\cdot}005}{r^3}\right] db \quad \ldots \quad (44)$$

எனக் கொண்டார். இந்த மதிப்புக்கள் $f = 100\ mc/s$-க்குப் பெறப்பட்டன. இவ்வாறு $r = 2\ R\odot$ என இருக்கும்பொழுது, $A_r$-ன் மதிப்பு $0{\cdot}02\ db$ ஆகும். இதன் மதிப்பு பாதை இடப் பெயர்ச்சியோடு வெகுவாகக் குறைகிறது.

சுருக்கம் : அட்டவணை 6·2 100 மெகா சுற்றுக்கள்/விநாடி அதிர்வெண்ணில் பெறப்படும் விளைவுகளின் பெரும மதிப்புகளைக் காட்டுகிறது.

| விளைவு | பகல் | இரவு | அதிர் வெண்ணின் சார்பலன் |
|---|---|---|---|
| ஃபாரடே சுழற்சி | 30 சுழற்சிகள் | 3 சுழற்சி | $1/f^2$ |
| குழுத்தாமதம் | 25 $\mu$ விநாடி | 2·5 $\mu$ விநாடி | $1/f^2$ |
| கட்டப்பாதை நீள மாறுபாடு | 10·5 கி. மீ. | 1·05 கி. மீ. | $1/f^2$ |
| கட்ட மாறுபாடு | 15000 ரேடியன்கள் | 1500 ரேடியன்கள் | $1/f^2$ |
| கட்ட நிலைத்தன்மை | ± 300 ரேடியன் | ± 30 ரேடியன் | $1/f$ |
| அதிர்வெண் நிலைத் தன்மை | ± 0·08 சுற்றுகள்/ விநாடி | ± 0·008 சுற்றுகள்/ விநாடி | $1/f$ |
| உட்கவர்தல் (D. F பகுதிகள்) | 0·2 $db$ | 0·02 $db$ | $1/f^2$ |
| விலகல் | $\leqq 1$ டிகிரி | — | $1/f^2$ |

இங்கு அயன மண்டலத்தின் மொத்த எலக்ட்ரான் அளவு பகலில் $\sim 5 \times 10^{13}$ எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ.$^2$ பத்தி என்றும், இரவில் $\sim 5 \times 10^{12}$ எலக்ட்ரான்கள்/செ. மீ.$^2$ பத்தி என்றும் கொள்ளப்

பட்டுள்ளது. உச்சிக் கோணத்தின் மதிப்பும் அதிக அளவு ($\psi \geqslant 60$ டிகிரி) கொள்ளப்பட்டுள்ளது. கொடுக்கப்பட்டுள்ள மதிப்புகள் அயன மண்டலத்தின் வழியே அலைகள் இரு திசைகளிலும் செல்லும்பொழுது கொடுக்கப்பட்டனவாகும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Radio Astronomical and Satellite studies of the atmosphere — *By Aarons J.*
2. Radio wave Probacation and ionosphere — *By Alpert*
3. Radar metereology — *By Batten*
4. Radio waves in the ionosphere — *Pudden*

# 7. சூரியனிடமிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகள்

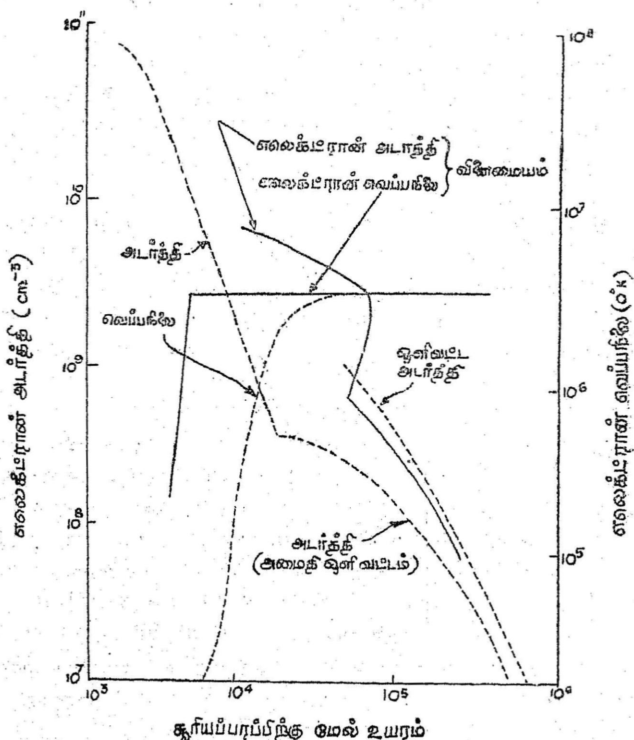
## (Radio waves from the Sun)

சூரியன் ஒரு சாதாரண விண்மீனுகும். இது வாயுவாலான ஒரு கோள வடிவமுள்ள பந்தைப் போன்றது. இதன் உட்பாகம் அதிக அடர்த்தியாலான பொருள் திணிவைக் கொண்டது. இதனுல் அதன் உட்பாகம் மிக வெப்பமாகக் காட்சியளிக்கிறது. சூரியனின் மையத்திலும், அதன் சுற்றுப் புறத்திலும் வெப்பநிலை சுமார் 20 மில்லியன் டிகிரி கெல்வின் இருக்கும். இவ் வெப்ப நிலையில் ஹைடிரஜன் அணுக்கள் ஒன்றுசேர்ந்து ஹீலியம் அணுக்களாக மாறும்பொழுது வெப்ப-உட்கரு வினை (Thermo nuclear reaction) யினுல் ஏராளமான அணுசக்தி வெளியாகிறது. இதனுல் சூரியன் அழியாமல் எப்பொழுதும் ஒளியுடன் இருக்க ஏதுவாகிறது.

சூரியனின் மையப் பகுதியில் உண்டாகும் ஆற்றல், அதன் வெளிப்புறப் பகுதிக்குக் கடத்தப்படுகிறது. இவ்வெளிப்புறப் பகுதிக்கு ஒளிக்கோளம் (photosphere) என்பது பெயர். இவ்வொளிக் கோளத்தைக் கடந்து வெப்பம் வெளிப்புறங்களுக்குக் கதிர்வீசல் முறையில் கடத்தப்படுகிறது. நாம் சூரியனிடமிருந்து ஒளியைப் பெறுவது இம்முறையில்தான் என்பதை நினைவு கொள்ள வேண்டும். ஒளிக் கோளத்தின் வெளி விட்டம் சுமார் 1,400,000 கி.மீட்டரும், அதன் வெப்பநிலை சுமார் $6000°K$ ஆகவும் இருக்கும். இவ்வெப்பநிலை பூமியில் உயிர்கள் வாழ்வதற்கு தக்கமுறையில் இருக்கின்றது, வெப்பம் கதிர்வீசப்படும் தடிமன் ஒரு சில நூறு கி. மீட்டர்கள் தானிருக்கும். ஆனுல் இதற்குமேல் உள்ள சுற்றுப் புற வெளிமண்டலம் மிகப் பரந்தது. இப்பகுதியை ஒளியியல் முறையில் பார்ப்பது மிகவும் கடினம். ஆகையால், தனிப்பட்ட சிறப்பு வாய்ந்த கருவிகளின் உதவியால் இப்பரப்புகளை ஆராய்ந்து வருகிருர்கள். நாம் பார்க்கும் ரேடியோக் கதிர்வீசல் (emission)

இப்பகுதியிலிருந்துதான் தோன்றுகிறது. எனவே சூரியனின் இப்பகுதியைத்தான் நாம் நன்ருக ஆராய வேண்டும்.

சுமார் 20,000 கி. மீ. தூரமுள்ள மண்டலம் செந்நிறக் கோளம் (chromos phere) என்று அழைக்கப்படுகிறது. அதிலிருந்து பல இலட்சக் கணக்கான ச. கி. மீ. பரப்புகள், ஒளிவட்டங்கள் (carona) என அழைக்கப்படுகின்றன. இப்பகுதிகளில் உள்ள வாயுக்களின் வெப்ப நிலையும், அவற்றின் அடர்த்தியும் சீரற்ற முறையில் மாறிக் கொண்டேயிருக்கும். ஆகவே, சராசரி முறையில் அவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டுள்ளனர். இவற்றின் மாற்றங்களையும், வேறுபாடுகளையும், விட்டு விட்டு வரையப்பட்டுள்ள கோடு காட்டுகின்றது,




படம் 7.1.

சூரிய வளி மண்டலத்தில் உயரத்தைப் பொறுத்து எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி, வெப்பநிலை ஆகியவற்றின் மாறுபாடு.

சுமார் 7000 கி. மீ. மட்டத்தில் வாயுவின் வெப்பநிலை $10,000°K$ வரை உயரும். 17,000 கி. மீ. மட்டத்தில் அதன் வெப்பநிலை $10,00,000°K$ வரை உயரும். இம்மட்டம் ஒளி வட்டத்தின் அடிப்பகுதியாகும். ஒளிவட்டப் பகுதியின் வெப்பநிலை அண்டவெளியை நெருங்க நெருங்க, சரியத் தொடங்கும். இப்படிப் பட்ட தன்மை வாய்ந்த ஒளிவட்டம் குளிர்ந்த வெளிப்பரப்பிற்கும், குளிர்ச்சி வாய்ந்த ஒளிக்கோளப் பகுதிக்கும் இடையே வெப்ப வாயுவாக இருக்கிறது என்பது நமக்கு அதிர்ச்சியூட்டுவதாக இருக்கிறது. அதற்குக் காரணம் என்னவெனில் சூரியனின் ஒளிக் கோளப் பகுதியிலிருந்து குறைந்த அதிர்வெண் கொண்ட மின் காந்த அலைகள் (electro-magnetic waves) வெளிவிடப்படுவதாகும். இந்த அலைகளை ஹைடிரோ காந்த அலைகள் (hydro-magnetic waves) எனக் கூறுவது வழக்கம். இவ்வலைகள் அயனிப் பிளாஸ்மா வினுல் தோற்றுவிக்கப்படும் காந்தப் புலத்தால் உற்பத்தியா கின்றன. அவை ஒளிக்கோளப் பகுதியிலிருந்து மேல்நோக்கி ஆற்றலைக் கடத்துகின்றன. இவ்வாற்றல் உயரே உள்ள வெளி மண்டலத்தில் செலவழிக்கப்படுகின்றது. இதனுல் வெப்ப ஆற்றல் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. எனவே மின்காந்த ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக உருவெடுக்கிறது.

மேற்கூறப்பட்டவை அமைதி சூரியனுக்குப் (quiet sun) பொருந்துவனவாகும். இவை சூரியப் புள்ளிகள் தோன்றும் பகுதி களுக்கும் அதிக வினையுடைய பகுதிகளுக்கும் பொருந்தமாட்டா. அமைதியாக உள்ள பகுதிகளிலிருந்து வெளிவரும் ரேடியோ அலைகள் 1946-ம் ஆண்டிலிருந்து ஆராயப்பட்டு வருகின்றன.

அமைதி சூரியப் பரப்பைத் தவிர, அமைதியற்ற பகுதிகளும் சூரியனில் இருக்கின்றன. இவற்றிற்குச் செயல் அல்லது வினை மையங்கள் (centres of activity) என்பது பெயர். சூரியனில் இப் பகுதிகள்தாம் மிகவும் விளக்கமும் உற்சாகமும் கொடுக்கும் பகுதி களாகும். இங்கு முற்றிலும் வேறுபட்ட குறுகிய நேர ரேடியோ அலைகள் வெளியிடப்படுகின்றன. ஒளியியல் தத்துவ முறைப்படி செயல் மையத்தின் முக்கிய அம்சம் சூரியப் புள்ளியாகும். ஆனுல் செயல் மையங்களின் வினைகள், அப்புள்ளிகள் தோன்றிய முன்பும் பின்பும் உள்ள கட்டங்களில் கூட இருக்கும். செயல் மையங்களின் வாழ்க்கை வரலாறு சுருக்கமாகக் கீழே கூறப்பட்டுள்ளது.

சூரியப் புள்ளி தோன்றும் கட்டத்திற்கு முன் சுமார் 50,000 கி. மீ. நீளமுள்ள காந்தம் சூரியனுக்குக் கீழ் கிடைமட்டமாக வைக்கப் பட்டதைப் போன்று ஓர் இரு துருவ காந்தப் புலம் தோற்றமாகிறது. கறுப்பு சூரியப் புள்ளிகள் தோன்றுவதில்லை.

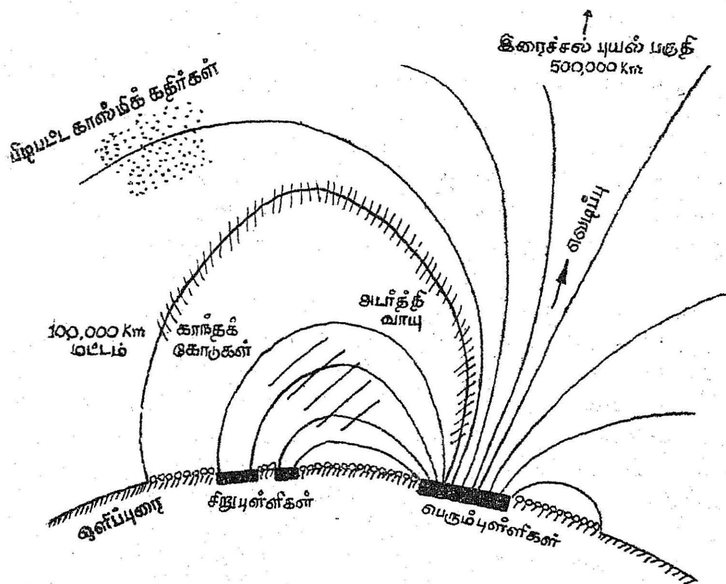
ஆனால் மேற்கூறிய காந்தப் புலம் சூரியனின் ஒளிக்கோளம் வழியாக அதற்குமேல் படிந்திருக்கும் செந்நிறக் கோளத்தினுள் பிரவேசிக்கும் பகுதிகளில் உள்ள வாயு எரியும்பொழுது ஒளி பொருந்திய நிறமாலை வரிகளை (light spectrum lines) வெளியிடு கின்றது, மேலும் காந்தவிசைக் கோடுகளின் மேல் பயணம் செய்யும் ஹைடிரோ காந்த அலைகளால் மேற்கூறிய வாயு வெப்பப் படுத்தப்படுகிறது. இது ஒளிவட்டம் வரை பரவுகிறது. இதனால், இந்த ஒளி வட்டத்தின் வெப்ப நிலையும் உயர்கிறது.

செந்நிறக் கோளத்தில் உள்ள வாயு வெப்பமடையும் பரப் பளவும் காந்தப் புலம் பிரவேசிக்கும் பரப்பும் அதிகமாக அதிகமாக கறுப்புப் புள்ளிகளின் தோற்றம் முன்னேறுகிறது. இச் சூரியப் புள்ளிகள் அதிகச் செறிவுடைய காந்தப் புலம் ஒளிக் கோளத்தைக் கடக்கும் பகுதிகளைச் சுட்டிக் காட்டுகின்றன. இத்தகைய பகுதிகள் சுற்றுப்புறப் பகுதிகளைக் காட்டிலும் கறுப்பாகத் தோன்று கின்றன. ஏனெனின் இந்த ஒளிக்கோள மட்டத்தில் உள்ள வாயு, உண்மையிலேயே அதன் சுற்றுப்புறப் பகுதிகளைக் காட்டிலும் குளிர்ச்சியாக இருக்கிறது. இருப்பினும் சூரியப் புள்ளிகளுக்கு மேல் உள்ள வாயு அதிக சூடாகவும் அடர்த்தியாகவும் இருக்கிறது. இத்தகைய மைய வினைகளைப் படம் 7·2 காட்டுகிறது.

ஒளி வட்டங்களின் உயர் பகுதிகளில் வாயுவாலான எரியும் மேகங்கள் தொங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றிற்கு உயர்வு (prominences) என்பது பெயர். இவை காந்தப் புலத்தின் உதவி யால் இருக்கின்றன. சூரியப்புள்ளி தோன்றி ஓரிரு வாரங்களில் மைய வினையிலேயே மிகக் குறிப்பிடத் தக்கதும் முக்கியமானது மான சில நிகழ்ச்சிகள் பார்க்கப் படுகின்றன. அவை. கிளர்ச்சி களும் (flares) அவற்றுடன் தொடர்புள்ள வினைகளுமாகும்.

சில ''ஃவாக்குலே'' (faculae) விலிருந்து வரும் வரி நிறமாலை ஒளியின் செறிவு அதிகரிப்பதே கிளர்ச்சி எனப்படும். வழக்கமாக இது அழிக்கும் தன்மையுடைய ஒரு வெடிப்பைப் பின்தொடர்ந்து வருகிறது. இத்தகைய மாபெரும் வெடிப்பு பல தொடர்ச்சியான முக்கியமான விளைவுகளை உண்டாக்குகிறது. இவ் விளைவுகளில் தலை சிறந்தது, பரந்த வாயுவாலான ஒரு மேகத்தை வெளித் தள்ளுவ தாகும். இத்தகைய ஒரு மேகத்தின் எடை 100.000 மில்லியன் டன்னும் அதற்கு அதிகமாகவும் இருக்கும். அதை வெளித் தள்ளும் வேகம் சுமார் 1,000 கி. மீ./வினாடி ஆக இருக்கிறது. இவ் வாயு மேகம் தானாகவே காந்தப் புலத்தைவிட்டுப் பிரிய இயலாது. ஆகையால், படத்தில் காட்டியுள்ளபடி. அது காந்தப்

புலத்தை இழுத்துச் (drag) செல்கிறது. இவ் வாயு மேகமும், காந்தப் புலமும் ஓரிரு நாட்களில் பூமியை அடைந்து காந்தப் புயல்களையும், துருவ ஒளி (aurora)களையும் விளைவிக்கின்றன. மேலும், அது சூரிய வளி மண்டலத்தை விட்டுப் பிரியும்பொழுது, மிக்கத் திறன் வாய்ந்ததும், ஒழுங்கற்றதானதுமான ரேடியோ அலைகளை வெளிவிடுகின்றது. அதே சமயம், $X$-கதிர்களும், காஸ்மிக் கதிர்களும் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. $X$-கதிர்கள் தோன்றுவதால் நமது வளி மண்டலத்தில் அயனியாக்கம் அதிகரிக்கின்றது. காஸ்மிக் கதிர்கள் சில சமயங்களில் பூமியை வந்தடைகின்றன. இவ்விதம் பூமியைச் சேர்ந்த காஸ்மிக் கதிர்களை பூமியிலும், செயற்கைக் கோள்களிலும் உள்ள காஸ்மிக் கதிர் எண்ணிகள் பதிவு செய்துள்ளன,




படம் 7·2.

சூரிய வளி மண்டலத்தில் வினை மையத்தைக் காட்டும் திட்ட வரைப் படம்

ஒளி வட்ட வரைப்பட முறை (corona graph)யைப் பயன்படுத்தி உலகின் பல ஆராய்ச்சிக் கூடங்களில் ஒளி வட்டத்தின் நகரும் படங்களை எடுத்துள்ளனர். இப் படங்கள், பொருட்கள் 1000 கி. மீ. வேகத்தில் வெளியே தள்ளப்படுகின்றன என்பதைக் காட்டின. இவ்வாறு வெளிவிடும் பொருள் திணிவுகளின் அமைப்பு, ஜெட்டுக்கள் (Jets) வடிவத்திலும், "பிளாபுகள்"

(blobs) வடிவத்திலும் அமைகின்றன. இத்தகைய பொருட்கள் போதுமான திசை வேகத்துடன் வெளியே தள்ளப்படாவிட்டால், அவை மீண்டும் சூரியனின் ஈர்ப்புப் புலத்தினுல் இழுக்கப்பட்டு சூரியனிலேயே விழுந்து விடுகின்றன. இந்த வெளித் தள்ளப்படும் எரி வாயு மேகங்களின் விளிம்புகளிலிருந்து தான் அதிக ஆற்றல் மிக்கதும் செறிவு வாய்ந்ததுமான ரேடியோ அலைகள் தோன்றுகின்றன.

சூரியனின் மைய வினைகளின் இறுதிக் கட்டம், புள்ளி பின் கட்டம் (post spot phase) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது பல மாதங்கள் வரை நீடிக்கலாம். சூரியப் புள்ளி கிளர்ச்சியடைந்த பின் அதுவும் அதனோடு தொடர்புள்ள வினைவுகளும் மறைந்து விடுகின்றன. ஆனுல், அவற்றைத் தோற்றுவித்த காந்தப் புலம் மட்டும் நிலைத்திருக்கும் இந்தக் காந்தப் புலம் இப்பொழுது வலிமை குன்றியிருந்தாலும், தொடர்ந்து அது மெதுவாகப் பரவிக் கொண்டேயிருக்கிறது. கிளர்ச்சியில் உள்ள மிஞ்சிய புலத்தினுல் ஒரு நுண்ணிழை போன்ற குளிர்ச்சியான அடர் மிகுந்த வாயு மேகம் குறுகிய நீளத்தையுடைய இழை போன்ற உருவத்தை எடுக்கிறது.

சூரிய ரேடியோ அலைகள் இரண்டு முக்கியத் தன்மைகளைக் கொண்டுள்ளன. இவ்வலைகள், ஒளியியல் முறையில் அதிக சிரமத்துடன் ஆராயக் கூடிய பகுதிகளில் தோன்றுகின்றன. இவ்வலைகளில் சில, வெப்பமற்ற முறையில் (non-thermal process) தோன்றுகின்றன. ஆனுல், நமக்குத் தெரிந்த அளவில், ஒளியியல் வெளியீடுகள் (optical emissions) வெப்பத்தினுல்தான் தோன்றுகின்றன. இத்தகைய தன்மைகளினுல் சூரிய ரேடியோ அலைகளை ஆராய்ச்சி செய்ததில் சூரிய வளிமண்டலத்தைப் பற்றிய உண்மைகள் அதிகரித்துள்ளன. சூரிய மைய வினைக்கு அப்பால் தோன்றும் கதிர் வீசல்கள் வெப்பத்தினுல் தோன்றுகின்றன என்று தெளிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய கதிர் வீசலைப் பற்றிக் கீழே விரிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது.

**சூரியனின் அமைதிப் பகுதி அல்லது அமைதி சூரியன் (The quiet sun)**

சுமார் 50 ஆண்டுகளுக்கு முன்னிருந்தே சூரியனிடமிருந்து வரும் வெப்ப—ரேடியோ அலைகளைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு ஏற்ற சாத்தியக் கூறுகளைப் பற்றிக் கருதி வந்தனர். இத்தகைய அலைகளைக் கண்டுபிடிப்பது இரு காரணங்களினுல் தாமதமாயின. முதலாவதாக, போதுமான நுட்பம் வாய்ந்த ஏற்பிகள் கிடையாது;

இரண்டாவதாக, சூரிய வளிமண்டலத்தைப் பற்றிப் போதுமான தகவல்கள் கிடைக்கவில்லை. நாம் கண்ணால் பார்க்கும் சூரியதளப் பரப்பின் வெப்பநிலை சுமார் $6000°K$ ஆக இருக்கிறது; அதோடு, இவ் வளி மண்டலம் குளிர்ச்சியானதாக இருக்குமெனக் கற்பிதம் செய்து கொள்ளப்பட்டது. சூரியனின் கோணத் தூரங்கள் (angular extent) சுமார் $\frac{1}{2}°$ இருப்பதால், $10°$ ஏரியல் கதிரின் $\frac{1}{400}$ பங்கை மட்டும் சூரியப் பரப்பு பூர்த்தி செய்கிறது. 1940-ம் ஆண்டுக்கு முன் ஏற்பிகளில் உற்பத்தி செய்யப்படும் இரைச்சல்கள் சுமார் $6000°K$ வெப்பநிலைக்குச் சமமாக இருந்ததால், அந் நேரங்களில் சூரியனிடமிருந்து வரும் கதிர்வீசல்களைக் கண்டுபிடிக்க இயல வில்லை.

போர்க்காலங்களில் தோற்றுவிக்கப்பட்ட ராடார் சாதனங் களைக் கொண்டு சில செ. மீ. அலை நீளங்களைக் கொண்டு சூரியக் கதிர் வீசல்களைப் பற்றி ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. பின்னர் குறுகிய அகலத்தில் ஆற்றலைப் பரப்பும் ஏரியல்களும், அதிக நுட்பத் தன்மை வாய்ந்த ஏற்பிகளும் தோன்றின. இவற்றை வைத்துக் கொண்டு சில ஆயிரம் டிகிரி கெல்வின் வெப்ப நிலையுள்ள சூரியக் கதிர் வீசல்களை அளந்தார்கள். இவ் வாராய்ச்சியின் முடிவுகள் ஏறத்தாழ எதிர்பார்த்த முடிவுகளையே தந்தன. ஆனால், மீட்டர் அலை நீளங்களையுடைய ஆராய்ச்சிகள் முற்றிலும் மாறுபட்ட முடிவுகளைத் தந்தன. அதிக அளவில் ஊசலாடும் செறிவுகள் சில நேரங்களில் பார்க்கப்பட்டன. மிலியன் மிலியன்கள் டிகிரி கெல்வின் வெப்பநிலைகளுக்குரிய செறிவுக் கோடுகளும் பார்க்கப் பட்டன. இவை வெடிப்புகள் (bursts) என அழைக்கப்படு கின்றன. இவை வெப்பத்தினால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன எனக் கூற முடியாது. இவற்றின் குணங்களைப் பற்றியும், தன்மைகளைப் பற்றியும் பின்னர் விரிவாகக் கூறப்படும்.

எதிர்பார்க்க முடியாத இந்த வியக்கத் தக்க நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றி ஆராயும்பொழுது சுமார் ஒரு மிலியன் டிகிரி கெல்வின் வெப்ப நிலையையுடைய நிலையான அடிமட்டக் கதிர்வீசல்களும் இருந்தன. இதுவும் ஒரு பெரும் வியப்பைத் தந்தது. ஏனெனில் சூரிய ஒளி வட்டங்கள் இவ் வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது ஒளியியல் முறையில் எதிர்பார்க்காத முடிவுகள் இவையாகும். ரேடியோ வானியல் முறையினால் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளி னாலும், திட்டவட்டக் கணிதக் கோட்பாடுகளினாலும் சூரிய ஒளி வட்டம் வியாபித்திருக்கும் பகுதி முழுவதும் சுமார் $1,000,000°K$ வெப்பநிலையில் இருக்கும் என்று நிரூபிக்கப்பட்டது.

சூரிய ஒளி வெப்பநிலையை மேற் கூறப்பட்ட அலை நீளங்களுக்கு இடைநிலைப் பகுதியில் உள்ள அலை நீளங்களைக் கொண்டு ஆராய்ச்சி செய்தார்கள். அலைநீளம் $1\frac{1}{4}$ செ. மீ. இருக்கையில் வெப்பநிலை $10,000°K$-ம், 10 செ.மீ.-க்கு $55000°K$-ம் 50 செ.மீ -க்கு $500,000K$-ம் 1·5 மீட்டர் அலைநீளத்திற்கு $1,000,000°K$-ம் இருப்பதாகக் கணக்கிட்டுள்ளனர். வெடிப்புச் சிதறல் (burst) நிகழ்ச்சிகளும்கூட செ மீ. அலை நீளங்களில் குறிப்பிடப்பட்டன. அவற்றின் வலிமை 1 செ. மீ. அலை நீளத்தில் புறக்கணிக்கத் தக்க அளவுக்குக் குறைந்து காணப்பட்டது. ஆனால், இந்த 1 செ. மீ. அலை நீளத்தில் மூன்ருவது நிகழ்ச்சி ஒன்று காணப்பட்டது. இதை, ''மெதுவாக மாறும் கூறு'' (slowy varying component) என்று பொதுவாகக் குறிப்பிடுகிருர்கள். இதைப் பற்றிக் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளது.

சூரியனின் தட்டு வெப்பநிலை (disc temperature) அலைநீளம் குறையக் குறைய, குறைகிறது. இதற்குரிய காரணத்தை ஆஸ்திரேலிய நாட்டு டி. எப். மார்டின் (D. F. Martyn) என்பவரும், சோவியத் நாட்டு ஜின்பர்க் (Ginburg) என்பவரும் கொடுத்தார்கள். முன் விளக்கியதுபோல இந்தக் கதிர்வீச்சாற்றல் வெப்பத்திஞல் தோற்றுவிக்கப் படுகிறது. ஒரு பொருள் வெப்பக் கதிர் வீசலை உட்கவரும் ஆற்றல் பெற்றிருந்தால் அது அதே வெப்பக் கதிர்வீசலை மட்டுமே வெளியிடலாம். மூன்ருவது அத்தியாயத்தின் சமன்பாடுகள் (1)-ம் (7)-ம் சேர்ந்து சூரிய ஒளி வட்டங்களுள் அயனியாக்கப்பட்ட வாயுவின் உட்கவர் குணகம் (absorbtion co-efficient) அலை நீளத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது என்று காட்டுகின்றன. ஒளி வட்டங்கள், மீட்டர் அலைக் கதிர்வீசல் ஆற்றலை உட்கவர்ந்து அதே அலைநீளக் கதிர் வீசல் ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. இந்த அலை நீளத்தில் பொலிவு அல்லது செறிவு வெப்ப நிலை மிலியன் டிகிரியாக இருந்தது. இது ஒளி வட்டத்தின் வெப்ப நிலையேயாகும். ஆனல் செ. மீ. அலைகள் ஒளி வட்டங்களினல் ஓரளவுதான் (partially) உட்கவரப்படுகின்றன. மீதப் பகுதி குளிர்ச்சியான சூரியனின் செந்நிறக் கோளத்தால் (chromosphere) உட்கவரப் படுகின்றன. மிகக் குறுகிய குற்றலைகள் (சுமார் 1செ. மீ.) முழுமையாகச் சூரியனின் செந்நிறக் கோளத்தின் மையப் பகுதிகளில் உட்கவரப் படுகின்றன. இப்பகுதிகளின் வெப்பநிலை சுமார் $10,000°K$ இருக்கும். எனவே, இந்த அலை நீளத்தில் சூரியனின் தோற்ற வெப்பநிலை சுமார் $10,000°K$ ஆகும்.

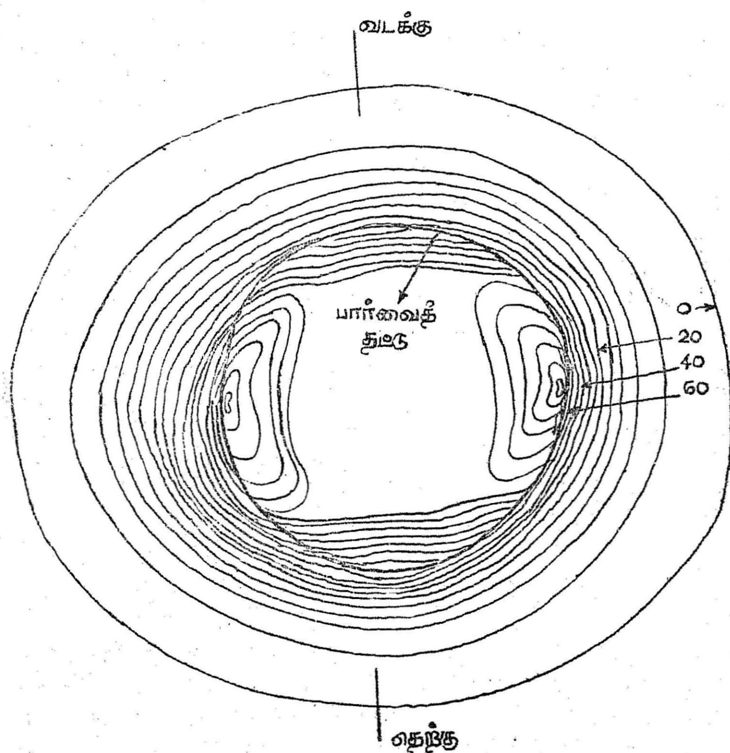
செ. மீ. அலை நீளங்களில் அமைதிச் சூரியனின் வெப்ப வெளியீட்டுக் கோட்பாடு மற்ருெரு முடிவைத் தரக்கூடியதாக

இருந்தது. இதைச் சூரியனின் ஓர அல்லது விளிம்புப் பொலிவு (limb brightening) எனக் கருதினர். சூரிய வளி மண்டலத்தின் ஆரத்தோடு ஒரு கோணத்தை உண்டாக்கும் ஒரு ரேடியோ அலை, அவ் வளிமண்டலத்தில் நுழைந்தால் அது அதிக தூரம் உட்கவரும் வாயு வழியாகச் செல்லும். இவ்வாறு செல்லும் அலை உயர் மட்டத்திலேயே உட்கவரப்படுகிறது. மாறாக ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்திலிருந்து விடுபடும் ரேடியோ அலை உயர் மட்டத்தில் வெளியிடப்படுகிறது. எனவே இம் மட்டம் அதிக வெப்பமாக இருக்கும், அதாவது சூரியத் தட்டின் விளிம்பிலிருந்து வெளிவிடப்படும் செ. மீ. அலைகளின் செறிவு அதன் மையத்தி லிருந்து வெளிவிடப்படும் அலைகளின் செறிவை விட அதிகமாக இருக்கும். இத்தகைய விளிம்புப் பொலிவு விளைவு பின்னர் பார்க்கப்பட்டு, 20 செ. மீ. அலை நீளத்தில் அமைதிச் சூரியனின் தோற்றம் 7·3-ல் காட்டியுள்ளவாறு படமாக்கப்பட்டது. இப் படத்தின் சமச்சீரற்ற (unsymmetry) அமைப்பைப் பற்றிக் கீழ்க் கண்டவாறு விளக்கலாம்.

மேலே கூறிய சூரியனின் வெப்ப வெளிவிடுக் கோட்பாடு துல்லியமானதல்ல. மேலும் சூரிய உட்கோளத்தின் வெப்ப நிலையும் வாயு அடர்த்திப் பங்கீடும் சரியாகத் தெரியவில்லை. சூரியக் கிரகணங்களின் பொழுது அதன் உட்கோளக் கதிர் வீச்சைப்பற்றி ஒளியியல் ஆராய்ச்சிகள், எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $N$-க்கும், வெப்பநிலை $T$-க்கும் ஒரு தொடர்பைக் கொடுத்தன. ஆனால் அவ்வாராய்ச்சிகளிலிருந்து $N$-ன் மதிப்பையோ அல்லது $T$-ன் மதிப்பையோ தனித் தனியாகக் கண்டுபிடிக்க இயலாமற் போய்விட்டது. ஒரு செ. மீட்டரிலிருந்து 50 செ. மீ. அலைநீளம் வரை பிடிக்கப்பட்ட ரேடியோ நிறமாலை $N$-க்கும், $T$-க்கும் உள்ள மற்றொரு தொடர்பை நிறுவி இக் குறையை ஒருவாறு நிறைவு செய்தது. இவ்விரண்டு தொடர்புகளையும் இணைத்து ஆஸ்திரேலி யாவில் பிட்டிங்டன் (Peddington) என்பவரால் $N$ ஐயும், $T$ ஐயும் தனித்தனியாகக் கண்டுபிடிக்க முடிந்தது. இது சூரிய உட் கோளத்தின் அமைப்பை விளக்க மிகவும் பயன்பட்டது. ஆனால் தற்சமயம் சூரியனின் மேற்பரப்பில் $N$-ம், $T$-ம் சிறிய அளவு மாறுபாடுகள் கொண்டுள்ளன எனத் தெரிய வருகிறது.

படம் 7·1-ல் இவற்றின் சராசரி செய்யப்பட்ட மதிப்புகள் விட்டு விட்டுப் போடப்பட்ட கோடுகளால் காட்டப்பட்டுள்ளன.

சிறந்த முறையில் அமைதிச் சூரியனை ஆராய இடைவெளி விட்டு அமைக்கப்பட்ட ஏரியல் அணி வரிசை மிகவும் பயன்படு கின்றது. இத்தகைய ஏரியல் அணி ஓர் ஒளியியல் விளிம்பு




படம் 7.3
20 செ மீ. அலை நீளத்தில் அமைதிச் சூரியனின் ரேடியோப் படம்.

விளைவுக் கீற்றணி (diffraction grating) போல் செயல்படுகிறது. சிட்னியில் உள்ள ஏரியல் கீற்றணி 3 நிமிட வில் கோணத்தைக் கொண்ட கற்றை அகலத்தைக் கொண்டது. இதனால் சூரியனில் 32 நிமிட வில் கோண தூரமுடைய அகலத்தைத் துருவ முடிகிறது. இது சூரியத் தட்டின் குறுக்கே வெவ்வேறு திசைகளில் சிறுசிறு பகுதிகளில் ஆராயப்பட்ட அடிமட்டக் கதிர் வீசல்களைச் சுட்டிக் காட்டியது. இத்தகைய கதிர் வீசல்கள் செயல்வினைப் பகுதிகளி லிருந்து வரும் கதிர்வீச்சுக்களுடன் கலந்திருந்தன. இந்தக் கூடுதல் கதிர்வீச்சு, குறுகிய அகலத்தையுடைய பெருமங்களைக் காட்டியது. இவற்றை அடிமட்டக் கதிர்வீச்சிலிருந்து கழித்து விட்டால் அமைதிச் சூரியனின் பொலிவுப் பங்கீடு கிடைக்கும்.

20 செ. மீ. அலை நீளத்தில் மேற்கூறிய முறையில் அமைக்கப் பட்ட சூரியனின் முழுப்படம், படம் 7·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இதில் பொலிவு வெப்பநிலை $1000°K$ அலகில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ரேடியோ சூரியன், பார்க்கப்படும் சூரியத் தட்டைவிடப் பன் மடங்கு பெரியதென்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. கதிர்வீசல், உயர் வளி மண்டலத்திலிருந்து வருகின்றது என்பதையும் இது காட்டுகின்றது. ரேடியோ சூரியன் வட்ட சமச்சீர் அமைப்பிலிருந்து குறிப்பிடத் தக்க அளவு வேறுபட்டுள்ளது என்பதையும் படம் காட்டுகின்றது. தட்டின் ஓரங்களில் விளிம்புப் பொலிவு இருக்கிறது என்பதையும், இப் பொலிவு கிழக்குத் திசையிலும் மேற்குத் திசையிலும் அதிக அளவு உள்ளது என்பதையும் படம் காட்டுகின்றது. இது கிரகணங்களின்பொழுது தெரியும் வெள்ளை ஒளி வட்டங்களின் அமைப்புக்கு ஒத்து வருகின்றது. அதோடு, குறைந்த கிடைக் கோணத்தில் சூரியனைச் சுற்றி அடர் மிகுந்த, வெப்பமான வாயு மண்டலம் உள்ளது என்பதையும் சுட்டிக் காட்டுகிறது. அதிகச் செறிவுள்ள கதிர்வீசல், பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் $80,000°K$-க்கும், தட்டின் மையப் பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் $50,000°K$-க்கும் சமம் என்பதைக் காட்டுகிறது.

### மெதுவாக மாறுபடும் ரேடியோ வெளிவிடுக் கதிர்வீசல்

ஒரு செ. மீ.-க்குக் குறைவாக உள்ள அலை நீளங்களில் சூரிய வெளிவிடுக் கதிர்வீசல் ஏறக்குறைய ஒளியியல் கதிர்வீசலைப்போல நிலையாக இருக்கிறது. ஏனெனில், இங்கு ஒவ்வொரு கதிர்வீசலும் வெப்பத்தினால் வெளிவிடப்படுகின்றது. இத்தகைய குற்றலை நீளங்களில் மைய விளையின் செயல் பங்கு நிராகரிக்கத் தக்கதாக உள்ளது.

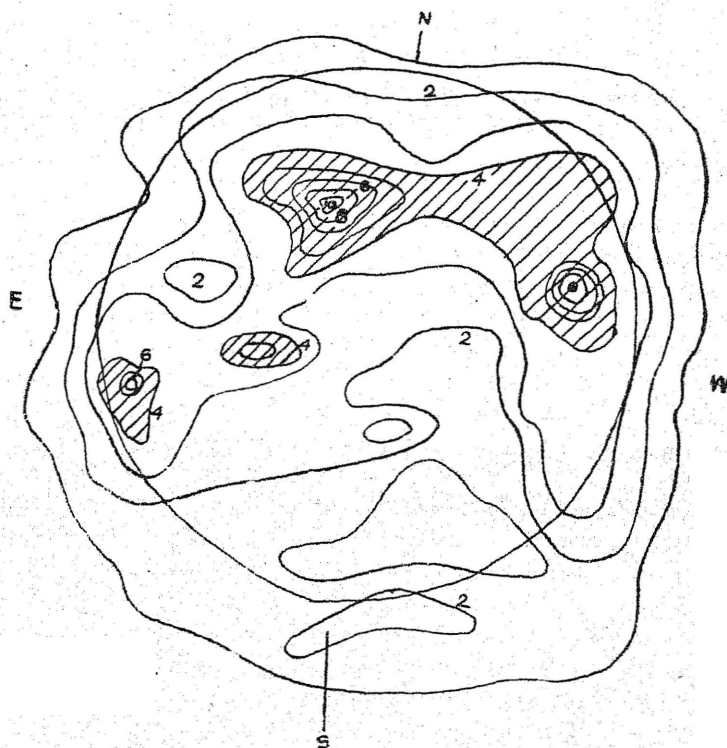
ஒரு செ. மீ. அலை நீளத்திற்கு மேல் நிலையான பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் $10,000°K$ இருக்கிறது. இதோடு மற்ற இரண்டு புதிய கதிர்வீசல்களும் கலந்துள்ளன. முதலாவது, சில விநாடிகள் அல்லது நிமிடங்கள் வரை இருக்கும் சிறிய ஒழுங்கற்ற ஏற்றத் தாழ்வுகளைக் கொண்ட கதிர்வீசலாகும். இரண்டாவது சில நாட்கள் அல்லது வாரங்கள் வரை நீடித்திருக்கும் சில விழுக்காட்டையுடைய மெதுவான ஏற்ற இறக்கங்களைக் கொண்ட கதிர்வீசலாகும். இந்த இரண்டாவது வகை வெளிவிடுக் கதிர்வீசல் 3 செ. மீ. அலை நீளத்தில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு இருந்து அதன் வீச்சின் ஏற்ற இறக்கம் 30 விழுக்காடுகளுக்கு மேல் இருக்குமாறு உள்ளது. இந்த வீச்சு சூரியப் புள்ளிப் பெருமங்களை நோக்கி அதிகரித்து பின் சூரியத்தட்டில் காணப்படும் சூரியப் புள்ளிகளின் அளவு, எண்ணிக்கைகளுக்குத் தகுந்தாற்போல் ஒவ்வொரு நாளும் மாறுபடுகிறது. நெட்டலைகளில் இம்மாற்றம் குறிப்பிடத்தக்க

அளவு இருந்து, பின 10 செ. மீ-க்கும். 50 செ. மீ.-க்கும் இடையில் உள்ள அலை நீளங்களில் நிலையான அடிமட்ட அள விற்குச் சமமாகவோ அல்லது சற்று அதிகமாகவோ இருக்கின்றது. மீட்டர் அலை நீளங்களில் நிலையான அடிமட்ட அளவிற்குச் சம மாகவோ அல்லது சற்று அதிகமாகவோ இருக்கின்றது. மீட்டர் அலை நீளங்களில் இம்மாறுபாடு முற்றிலும் மறைந்து நிலையான அடிமட்ட மதிப்பையும் ஒழுங்கற்ற வெடிப்புகளையும் ஏற்படுத்தி வருகின்றது.

சுமார் 1 செ. மீ.-க்கும் 1 மில்லி மீட்டருக்கும் இடைப்பட்ட அலை நீளங்களில் தோன்றும் ஏற்ற இறக்கச் செறிவுகள் மெதுவாக மாறுபடும் கூறு (slowly varying component) என்று குறிப்பிடப் படுகிறது.

இத்தகைய மெதுவாக மாறுபடும் கூறுக்கும், சூரியப் புள்ளி களுக்கும் உள்ள தொடர்பைச் சூரியப்புள்ளிகளின் அன்றாட மாற்றங் களின் மூலம் குறிப்பிடுகிறோம். பூமியிலிருந்து பார்க்கும்பொழுது சூரியன் 27 நாட்களுக்கு ஒருமுறை தன்னைத் தானே சுற்றுகிறது. இதனால் சூரியத் தளத்தில் நீண்ட நாட்கள் நிலைத்திருக்கும் புள்ளிகள் இந்நாட்களில் தோன்றியும் மறைந்தும் காணப்படும். இதன் காரணமாக மெதுவாக மாறுபடும் 27 நாட்கள் இடைவெளி யில் குறிப்பிடத் தக்க அளவு மாறுபடுகிறது. இவ் வகையில் மெதுவாக மாறுபடும் கூறுகளுக்கும் சூரியப் புள்ளிகளுக்கும் நெருங்கிய தொடர்பு இருந்தாலும் அவற்றின் அன்றாட மாற்றங்கள் முற்றிலும் வேறுபட்ட தன்மையுடையவை என்று புள்ளி விவர ஆய்வு மூலம் கணக்கிட்டுள்ளனர். மேலும், இந்த மெதுவாக மாறும் கூறுகளின் தோற்ற இடங்களைப்பற்றிய உண்மை, சூரியக் கிரகணங்களின் பொழுது செய்த ரேடியோ ஆராய்ச்சிகளின் பயனாகப் புலனாகிறது. சந்திரன், சூரியத் தட்டை மறைக்கும் பகுதி அதிகரிக்க அதிகரிக்க பூமியில் தோன்றும் பாயம் (flux) குறைகிறது. இப்பாயக் குறைபாடு சீராக இல்லாவிடிலும் அதன் மாறுபாட்டு வீதம் சூரியப் பரப்பில் தோன்றும் வெப்பப் புள்ளி களுக்கேற்ப (hot spots) இருக்கிறது. இவ் வெப்பப் புள்ளிகளில் சில சூரியப் புள்ளிகளைச் சுற்றியிருக்கும். சில வெப்பப் புள்ளிகள் இவ்வாறு இரா. குறுக்கீட்டுக் கீற்றணி ஏரியல் முறையைப் பயன் படுத்தி அண்மைக் காலங்களில் செய்த ஆராய்ச்சிகள் மேற்கூறிய மெதுவாக மாறும் கூறுகள் செயல்வினை மையங்களிலிருந்து தோன்றுகின்றன என்பதைத் திட்டவட்டமாகக் காட்டுகின்றன. இச் செயல்வினை மையங்கள் சூரியப் புள்ளிகளைக் கொண்டோ அல்லது இல்லாமலோ இருக்கலாம்.

சிட்னியில் உள்ள குறுக்கீட்டு விளைவுமானி, அறுபத்து நான்கு 19 அடி விட்டமுள்ள பரவளைய ஏரியல்களைக் கொண்டது. இவை, பெருக்கல் குறி (×) அமைப்பில் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு புயத்தின் நீளமும் 1200 அடிகளைக் கொண்டது; இரு தொடர்ச்சியான குறுகிய அகலக் கற்றைகளைக் கொண்டது. இக் கற்றைகளின் அகலங்கள் 3 நிமிடக் கோணமாகவும், ஒரு கற்றைக்கும் மற்றொரு கற்றைக்கும் இடைவெளிக் கோணம் 1° ஆகவும் இருக்கின்றன. இத்தகைய அமைப்பினால் சூரியன் ஒரு குறிப்




1958, ஜனவரியில் எடுக்கப்பட்ட சூரியனின் ரேடியோப் படம். அநேக செயல்வினை மையங்களுடன் காட்டப்பட்டுள்ளது.

படம் 7·4.

பிட்ட நேரத்தில் ஒரே கற்றையுள் அமையும் வாய்ப்பும் இருக்கிறது. இந்த ஊசி முனை போன்ற கற்றைகளினால் சூரியனின் ஒவ்வொரு பகுதியும் துருவப்பட்டு அதன் ரேடியோப் படம், ஒரு தொலைக் காட்சி, (television) முறையில் தொகுத்துக் காட்டப்படுகிறது.

இதைப் போன்று ஒரு படம் 1958-ம் ஆண்டு ஜனவரித் திங்கள் எடுக்கப்பட்டது. இதில், ஒளியியல் முறையில் சூரியனை நோக்கு வதோடு ஒப்பிட்டு, பொலிவு வெப்பநிலை $100{,}000° K$ அலகாகக் கொண்டு வரையப்பட்டுள்ளது. அதிகப் பொலிவுச் செறிவுள்ள பகுதிகள், செயல் வினை மையங்களாகக் (active centres) காட்டப் பட்டுள்ளன. இச் செயல்வினை மையங்களின் பொலிவு வெப்பநிலை $400{,}0000° K$-லிருந்து $1{,}000{,}000° K$ வரை இருக்கலாம் என் பதும் குறிப்பிடத்தக்கது.

இதை அமைதிச் சூரியத் தட்டின் பொலிவு வெப்பநிலை $50{,}000° K$-லிருந்து $80{,}000° K$ வரை ஒப்பிடலாம். 3·2 செ. மீ. அலை நீளத்தில் சூரியனின் ரேடியோப் படம் சோவியத் நாட்டிலும் பிடிக்கப்பட்டது. இதற்கு 6 நிமிட கோணக் கற்றை அகலத்தைக் கொடுக்கும், பூமியில் துளையிட்டு அமைக்கப்பட்ட மிகப் பெரிய பரவளைய எதிரொளிப்பான் உபயோகப்படுத்தப்பட்டது.

மெதுவாக மாறும் கூறின் தோற்றத்தைப் பற்றிய கோட்பாடு சுவிட்சர்லாந்திலும் ஆஸ்திரேலியாவிலும் தனித் தனியே உரு வாக்கப்பட்டன. இதன் காரணமாகப் பொலிவு வெப்பநிலை மெதுவாக மாறும் கதிர் வீச்சுக் கூறேடு சேர்ந்து சில மில்லியன் டிகிரி வெப்ப நிலையைத் தாண்டாது எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அத்துடன் இது வெகுவாக மாறுபடாது என்றும் புலனுயிற்று. இவ்வுண்மைகள், மேற்கூறிய கதிர் வீசல் வெப்பத்தினுல் தோன்று கிறது என்றும், அமைதிச் சூரியனின் நிறமாலையிலிருந்து அமைதிச் சூரிய வளி மண்டலத்தின் அமைப்பைக் கண்டறிவதுபோல இக் கூறுகள் வெளிவிடு பகுதியின் அமைப்பை உருவாக்கலாம் என்றும் காட்டின. சூரிய வளி மண்டலத்தில் வரையறுக்கப்பட்ட பகுதி மட்டங்களிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளமுள்ள ரேடியோ அலைகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இம் மட்டத்திற்குக் கீழ் உள்ள பகுதியிலிருந்து வெளிவிடப்படும் ரேடியோ அலைகள், அவை வளி மண்டலத்தை விட்டு வெளியேறுவதற்குள் உட்கவரப்பட்டு விடு கின்றன. இம் மட்டத்திற்கு மேலிருந்து வெளிவரும் ரேடியோக் கதிர் வீச்சு ஆற்றல் குறைவாக இருக்கிறது. ஏனெனில் இவ் வளி மண்டலம் ஏறத்தாழ ஊடுருவும் ஊடகமாக இருக்கிறது. ஓர் ஊடுருவும் ஊடகம், கதிர் வீசலை உட்கவரவோ, வெளிவிடவோ செய்யாது என்பதை நாம் அறிவோம். குற்றலைகளின் துளைத்துச் செல்லும் தன்மை அதிகமானதால், அக் கதிர் வீசல் தாழ்ந்த மட்டப் பகுதிகளிலிருந்து வெளிவருகிறது. ஆகவே, இத்தகைய குற்றலைக் கதிர் வீசல் அதிக அடர்த்தியும் குறைந்த வெப்ப நிலையும் கொண்ட மட்டங்களிலிருந்து வெளிவருகிறது. எனவே

சூரியனின் தோற்ற வெப்பநிலை, அதன் ரேடியோ வெளி விடு ஆற்றல் செறிவிலிருந்து அளக்கப்பட்ட அளவுகளிலிருந்து, அலைநீளம் குறையக் குறையக் குறைகின்றது என்பது தெளிவாகின்றது. செயல் வினை மையங்களில் ரேடியோப் பொலிவு சுமார் 1 செ. மீ. -க்கும் 100 செ. மீ.-க்கும் இடையில் உள்ள எல்லா அலை நீளங்களுக்கும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால் ஒரு கொடுக்கப்பட்ட மட்டத்தின் வெப்பநிலை வெகுவாக மாறுபடாது என்றும், அம் மட்டத்தின் அடர்த்தி மாறுபடலாம் என்றும் ஒளியியல் ஆராய்ச்சிகள் நமக்குப் புலப்படுத்துகின்றன. எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட அடர்த்தி எண் உடைய பகுதி உயரத்தில் உள்ள அதிக வெப்பநிலையில் உள்ள மட்டத்தை நோக்கி நகர்கின்றது என்றும் நாம் அறிகின்றோம்.

கீற்றணி அமைப்புக் குறுக்கீட்டு விளைவுமானிகளைக் கொண்டு மிக அண்மையில் நடத்தப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் இந்த மெதுவான முறையில் மாறுபடும் கூறுகளின் தெளிவான நிறமாலைகளைத் தந்தன. இத்தகைய நிறமாலைகள் 2 செ. மீட்டரில் 500,000°K வெப்ப நிலையிலிருந்து ஒரு திடீர் அதிகரிப்பைக் காட்டின ; பின்னர் பொலிவு வெப்பநிலை சிறிதளவு குறையத் தொடங்கியது (படம் 7·1). இந் நிறமாலை ஒரு செயல்வினைப் பகுதி அமைப்பைப் புலப்படுத்தியது. இத் தன்மையைப் படம் 7·1-ல் தொடர்ச்சியாக உள்ள கோடுகள் காட்டுகின்றன.

இவ் வளைகோடுகளை அமைதிச் சூரியன் படத்தில் (படம் 7·3) உள்ள கோடுகளோடு ஒப்பிட்டால், எலக்ட்ரானின் அடர்த்தி எண் 20,000 கி. மீ. -க்கும் 100,000 கி. மீ.-க்கும் இடையில் உள்ள மட்டங்களில் வெகுவாக அதிகரிக்கின்றது என்பது தெளிவு. இப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் அடர்த்தி சுமார் 10 மடங்கு அதிகரிக்கிறது. இப் பகுதிதான் ஒளி வட்டத்தின் அடிப்பகுதியாகும். ஆனால் சுமார் 300,000 கி. மீ. மட்டத்திலும் அதற்கு மேல் உள்ள உயரங்களிலும் எலக்ட்ரான் அடர்த்தி எண் மேலும் 3 ஆக அதிகரிக்கிறது. ஒளியியல் ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட ஒளிவட்ட அடர்த்தி எண்ணும், ரேடியோ அமைப்பு முறையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட அடர்த்தி எண்ணும் ஒன்றோடொன்று பொருந்தின. இம் முறைகளில் வரைந்த வளைகோடுகள் ஒன்றையொன்று ஒத்திருந்தன.

செயல்வினை மையங்களுக்கு மேல் உள்ள வெப்பநிலைப் பங்கீட்டை அமைதிச் சூரியனின் வெப்பநிலைப் பங்கீட்டோடு ஒப்பிடலாம். ஒளி வட்டத்தில் சுமார் 20,000 கி. மீ.-க்கு

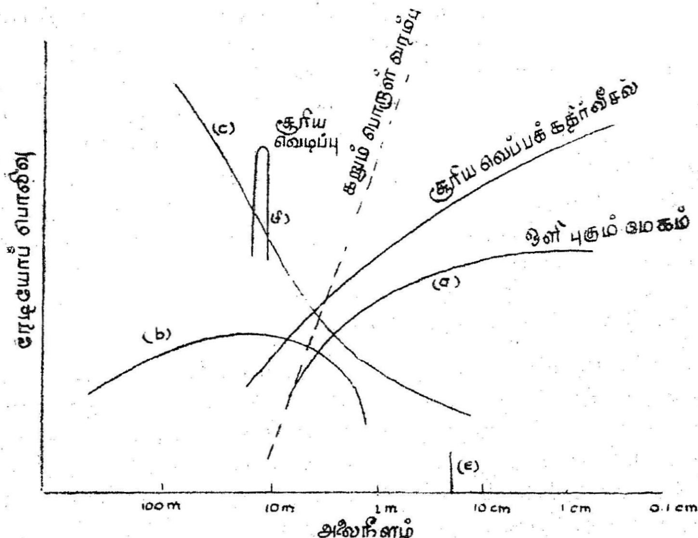
மேல் வெப்ப நிலைகள் சுமார் ஒன்று அல்லது இரண்டு மில்லியனுக்குச் சமமாக இருந்தன. இந்த வெப்பநிலை செயல்வினைமையத்தினால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால், 10.000 கி. மீ.-க்கு அருகில் உள்ள குறுகிய பகுதிகளில் செயல்வினை மையத்திற்குமேல் வெப்பநிலை அமைதிச் சூரியப் பகுதி வெப்ப நிலையை விடப் பன் மடங்கு அதிகமாக இருக்கிறது. குறிப்பாக, கொடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் அடர்த்தியைக் கொண்ட செயல்வினைப் பகுதிகளில் வெப்பநிலை அதிகமாக இருக்கிறது. காட்டாக, எலக்ட்ரான் அடர்த்தி $10^9$/கன செ. மீ. இருக்கும் மட்டங்களில் அமைதிச் சூரியப் பகுதியின் வெப்பநிலை சுமார் $10^5\ ^\circ K$ ஆகவும், செயல்வினைப் பகுதிகளில் $10^6\ ^\circ K$-க்கு மேலாகவும் இருக்கின்றன. இத்தகைய செயல்வினைப் புலங்களுக்கு அருகில்தான், வியக்கத் தக்கதும் விநோதமானதுமான ரேடியோ வெடிப்புகள் (Radio bursts) தோன்றுகின்றன. இவற்றைப் பற்றிக் கீழே விரிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது.

### ரேடியோ வெடிப்புகள் (Radio bursts)

முன் கூறியது போல், சூரிய செந்நிறக் கோளத்தில் தோன்றும் கிளர்ச்சிகள் இவ்வெடிப்புகளுக்கு ஒரு காரணமாகும். இத்தகைய வெடிப்புகளால் மிக அதிக வெப்பமும் அதிக அளவு புற ஊதாக் (ultra-violet) கதிர் வீசலும், $X$ கதிர் வீசலும், அயனியாக்கப்பட்ட வாயு மேகங்களும் வெளிவிடப்படுகின்றன. கிளர்ச்சி தோன்றிய நேரத்திலிருந்து தொடர்ந்து சில மணி நேரங்கள் அல்லது சில நாட்கள் வரை ரேடியோக் கதிர் வீசல் ஒரு முழு நிறமாலையை அடைத்துக் கொண்டுள்ளது. அலைநீளம் சுமார் 1 செ. மீ. இருக்கையில் கதிர் வீசலின் செறிவு குறைந்தும், அலைநீளம் 15 மீட்டர் அல்லது அதற்கு மேலும் உள்ளபொழுது கதிர் வீசலின் செறிவு அதிகமாகவும் இருக்கிறது. இத்தகைய கதிர் வீசல், நிறமாலை வடிவில் பூமிக்கப்பாலிருந்து வரும் கதிர் வீசலிலிருந்தும் மாறுபட்டது. வெடிப்புகளினால் உண்டாக்கப்படும் நிறமாலை மிகக் குறுகிய அகலத்துடன் இருப்பதோடல்லாமல் எப்பொழுதும் தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டேயிருக்கும் தன்மையையும் பெற்றுள்ளது. மதிப்பிடத் தக்க மாற்றங்கள் சில மணி நேரங்களோ அல்லது சில விநாடி நேரங்களோ இருக்கலாம். இத்தகைய மாறும் தன்மை வாய்ந்த கூறுகளைத்தான் வெடிப்பு என்று கூறுகிறோம். ஆனால் சில நாட்கள் வரை நீடிக்கும் இரைச்சல் புயல் (noise storm) கள் இதற்கு ஒரு விதி விலக்காகும்.

அடுத்த பக்கத்தில் உள்ள வரைபடம் வெவ்வேறு ரேடியோ கதிர் வீச்சுகளின் நிறமாலைகளைக் காட்டுகிறது. இவற்றுள் (e) என்பது

ஹைடிரஜன் வரியைக் குறிக்கின்றது. (*f*) சூரிய வெடிப்பைக் காட்டுகிறது. ஹைடிரஜன் வரி நிறமாலையைத் தவிர மற்றவை யெல்லாம் அகலப்பட்டையைக் கொண்டுள்ளன. (*d*) என்ற வளை கோடு சூரிய வெப்ப வெளிவிடு ஆற்றலைக் குறிக்கின்றது. சில வினாடிகள் அல்லது நிமிடத்திற்குப் பின் சூரிய வெப்பக்கதிர் வீசல் படத்தில் காட்டப்பட்ட அமைப்பிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்ட



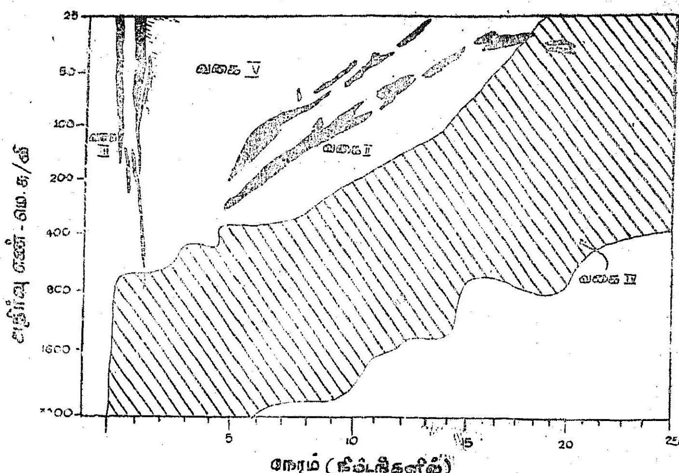

ரேடியோக் கதிர்வீசலின் வரைபடம்

படம் 7.5

அமைப்பிற்கு மாறிவிடக்கூடும். ஒரு சில நிலையான அதிர்வெண் களில் சூரியன் முற்றிலும் வியக்கத்தக்க கதிர் வீச்சுகளைக் கொண்டுள்ளது என்று பழைய ஆராய்ச்சிகள் காட்டின. இவற் றிற்கு விளக்கம் தருவது முற்றிலும் கடினமாக இருந்தது. ஆனால் சில குறிப்பிட்ட தெளிவாக வரையறுக்கப்பட்ட அமைப்புகள் பதிவு செய்யப்பட்டன. இவற்றுள் முக்கியமானவையும் தெளிவான வையும், வெடிப்புகளாலானவையாகும். இவை ஒரு சில நிமிடங்கள் வரைதான் காட்சியளித்தன. அதேபோல் ஒவ்வோர் அலை நீளத்திலும் காணப்பட்டன. இத்தகைய வெடிப்புகள் உண்டா கும்பொழுது மிகப்பெரிய கிளர்ச்சிகளும் தொடர்ந்து வந்தன. இதனால் பொலிவு வெப்பநிலை மில்லியன் மில்லியன் டிகிரிகளைத் தாண்டியது. இக் காட்சிகள் சூரிய வெடிப்புகளின் தன்மைகளை

முற்றிலும் கண்டுபிடிக்கும் தொலை நோக்கிகள் எவ்வாறு அமைய வேண்டும் என்பதை வலியுறுத்தின. அவ்வாறு அமைக்கப்படும் தொலைநோக்கிகள் ஒரு விஞடியிலோ அல்லது அதற்குக் குறைவான நேரத்திலோ அதிக அதிர்வெண்களைக் கொண்டிருக்கும் பகுதியை முழுவதும் துருவக் கூடியனவாக இருக்க வேண்டும்; அதேசமயம் ஒவ்வோர் அதிர்வெண்ணிலும் கதிர் வீசலின் செறிவையும் வெடிப்புகளின் நிறமாலையையும் பதிவு செய்யும் தன்மையுடையனவாகவும் இருக்கவேண்டும். இத்தகைய வெடிப்பு நிறமாலைகள் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டேயிருப்பதால் அவற்றின் தொடர்ச்சியான மாற்றங்களைப் பதிவு செய்வது அத்தியாவசியமாகிறது. இத்தகைய பதிவு நிறமாலைக்கு இயக்கவியல் நிறமாலை (dynamic specturm) என்பது பெயர்.

தொடர்ந்து மாறும் நிறமாலைகளைப் பதிவு செய்வது அவ்வளவு எளிதான காரியமல்ல. படம் 7·5-ல் உள்ள வளைகோடுகளை ஒரு நிறமாலை வரைவி (spectrograph) உண்டாக்க வேண்டுமென்ருல், ஒவ்வொரு மணிக்கும் ஆயிரக்கணக்கான நிறமாலைகளை எடுக்க வேண்டும். பின்னர் அவற்றை ஆராய்ச்சி செய்வது அதைவிட மிகக் கடினமான வேலையாகும். இதை ஓர் எதிர்மின் கதிர் அலைவு வரைவி (C. R. O)யைக் கொண்டும், தொடர்ச்சியாக நகரும் சுருளை (film)க் கொண்ட ஒரு 35 மி. மீ. காமிராக் கருவியைக் (camera) கொண்டும் எளிதாகச் செய்யலாம். ஏற்பியின் அதிர்வெண்ணை 70 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-லிருந்து 130 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-பகுதி வரைத் தொடர்ந்து சரிசெய்து (tuned) கொண்டே சென்ருல் அலைவு வரைவியில் உள்ள எலக்ட்ரான் கதிர் இந்த அதிர்வெண் பகுதியுடன் ஒன்று சேர்ந்து திரையின் குறுக்கே நகரும். இம்முறையில் பதிவு செய்வதில் முக்கியமானது என்னவெனில் எலக்ட்ரான் புள்ளியின் பொலிவு, ஏற்பியின் வெளிவரு அளவிலிருந்து தீர்மானிக்கப்படுவதேயாகும். ஒரு தொலைப்படக் காட்சியின் திரையில் தோன்றுவதுபோல சைகையின் வலிமை அதிகமாக இருந்தால் புள்ளியின் பொலிவு அதிகரிக்கும். இத்தயை முறை ஒரே செறிவையுடைய பண்பேற்றப்பட்ட (modulated) ஒரு முழுமையான நேர்கோட்டு நிறமாலையைக் கொடுக்கிறது. இவ்வரி, அதன் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் மெதுவாக நகரும் ஒரு காமிராக் கருவியால் படமாக்கப் படுகிறது. ஒரு விஞடியின் சிறு பகுதி நேரம் கழிந்தவுடன் இரண்டாவது கோடு திரையில் தோன்றுகிறது. இதன் அமைப்பு முந்தைய கோட்டின் அமைப்பை விடச் சிறிது வேறுபட்டிருக்கும். இதே போல் அடுத்தடுத்துத் தோன்றும் வரிகள் படம் பிடிக்கப்படுகின்றன. இப்படத்தின் அமைப்பு கீழே காட்டப் பட்டுள்ளது.




சூரிய வெடிப்பு நிறமாலைகளையும் அவை எவ்வாறு மாறுபடுகின்றன என்பதையும் படம் காட்டுகிறது.

படம் 7·6.

படத்தில் எண்ணற்ற இயங்கும் நிறமாலைகள் காட்டப் பட்டுள்ளன. எந்த நேரத்தில் நமக்கு நிறமாலை வேண்டுமோ அந்த நேரத்தில் ஒரு செங்குத்துக் கோடு வரைந்தால் அக்கோடு தொடும் வரியே அப்போதைய நிறமாலையாகும். படத்தின் இடப் புறத்தில் தோன்றும் கறுப்புக் கூட்டங்கள், வெடிப்புகள், ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண் பகுதியில் பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளதைக் காட்டுகின்றன. அதோடு, இவை அதிகச் செறிவுள்ள கதிர் வீசல் களைச் சுட்டிக் காட்டுகின்றன. கோடிட்ட பரப்பு வலிமை வாய்ந்த நிலையான கதிர் வீச்சையும், படத்தின் மீதி வெள்ளைப் பகுதி சுழிக் கதிர் வீச்சையும் குறிக்கின்றன.

முதல் இயக்க நிறமாலை வரைவி (dynamic spectrograph) 1949-ல் சிட்னி நகரில் அமைக்கப்பட்டது. அது 2·3-லிருந்து 4·3 மீட்டர் அலை நீளத்தில் வேலை செய்யும் தன்மை வாய்ந்தது. இத்தகைய நிறமாலை வரைவியில் அகன்ற பட்டைச் சாய் சதுர ஏரியல் உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. அது 70—130 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண் பகுதியில் வேலை செய்கிறது. 1952-ல் மேலும் இரண்டு சாய் சதுர ஏரியல்களை வைத்து அதிர் வெண் 25—210 மெகா சுற்றுகளாக உயர்த்தப்பட்டது. அலை நீளம் 1·4—12 மீட்டராக்கப்பட்டது. இத்தகைய அமைப்பைப் பயன்படுத்தி வைல்டு (Wild) என்பவரும் அவரது சீடர்களும்

மூன்றுவித வெடிப்புகளை அடையாளங் கண்டனர். இவற்றுள் II-ம் வகை வெடிப்புத்தான் (படம் 7·6) மிக்க ஆற்றலையும் செறிவையும் கொண்டுள்ளது. இதைத்தான் முந்தைய ஆராய்ச்சியாளர்கள் ''திடீர் வெடிப்புகள்'' (out bursts) என்று அழைத்தனர். அதேபோல் III-ம் வகை வெடிப்புகள் முந்தையதை விடக் குறைந்த ஆற்றலைப் பெற்று குறைந்த நேரத்தில் தோன்றும் வெடிப்புகளாகும். இவையும் படம் 7·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன இவற்றைப் பிரிக்கப்பட்ட அல்லது ''தனிமை வெடிப்புகள்'' (isolated bursts) என்று குறிப்பிட்டனர். I-ம் வகை வெடிப்புகள் சாதாரணமாகக் கிளர்ச்சிகளுக்குப் பிறகுத் தொடர்வதில்லை. இதன் காரணமாக அவை படத்தில் காட்டப்படவில்லை. இவ்வகை வெடிப்புகள் ''இரைச்சல் புயலை'' (noise storm)ப் பின் தொடர்ந்து தோன்றும். இதைப்பற்றி இதேபகுதியில் பின்னர் விரிவாகக் கூறுவோம்.

மேலே கூறிய விளக்கங்கள் அலைநீளம் 1 மீட்டருக்கு மேல் (அதிர்வெண் 300 மெகா சுற்று/விநாடி) உள்ள அலைகளைச் சார்ந்து விவரிக்கப்பட்டன என்பதை மனதில் கொள்ள வேண்டும். இதே அதிர்வெண் பகுதியில் ஆராய்ச்சி நடத்திய ஃபிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானிகள் IV-ம் வகை வெடிப்புகளை அடையாளங் கண்டு கொண்டனர். இவ் வெடிப்புகள் அகன்ற நிறமாலையையும் அதிக மாருத் தன்மையையும் கொண்டவையாகும். இவை II-ம் வகை வெடிப்பைத் தொடர்ந்து தோன்றும் தன்மையுடையனவாகும். இதே தன்மை வாய்ந்த V-ம் வகை வெடிப்பு, III-ம் வகை வெடிப்பைத் தொடர்ந்து நடைபெறும். இதுவும் தொடர்ந்து கதிர்வீசல் தன்மையைப் பெற்றுள்ளது. ஆனால், இதன் நிறமாலை IV-ம் வகை நிறமாலையைப்போல் அகன்றதல்ல.

1949-ம் ஆண்டும் அதற்கு முன்னும் ஒரே அதிர்வு எண்ணைக் கொண்ட தொலைநோக்கியின் மூலம் சுமார் 300 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்களில் உள்ள சூரிய வெடிப்புகளைக் கண்டார்கள். ஆனால் 1956-ல் இருந்துதான் ரேடியோ நிறமாலை வரைவிகள் இந்த அதிர்வெண் பகுதிகளில் இயங்க முற்பட்டன. இத்தகைய இரண்டு நிறமாலை வரைவிகள் அமெரிக்காவில் செயல்படத் துவங்கின. இவை 25—580 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (52 செ. மீ.—12 மீட்டர் அலை நீளம்) அதிர்வெண் பகுதியில் தொழிற்படத் துவங்கின. மிக அண்மையில் 500—1000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (30—60 செ.மீ.) அதிர்வெண் பகுதியிலும் 2000-4000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (7·5—15 செ. மீ.) அதிர்வெண் பகுதியிலும் தொழிற்படும் நிறமாலை வரைவிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டு உபயோகப்படுத்தப் பட்டுமுள்ளன.

பாயும் வாயுக்களிலிருந்து கதிர்வீசல் (Emission from streaming gas)

படம் 7·6-ல் காட்டப்பட்ட நிகழ்ச்சிகள் முழுவதும் ஒரு சூரியக் கிளர்ச்சிக்குப் பின் நிகழ்வதாகும். ரேடியோ வெடிப்புகளைப் பற்றி ஆராயும்பொழுது கிளர்ச்சிகளுக்கும் வெடிப்புகளுக்கும் உள்ள தொடர்பை நாம் மனதில் வைத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

11 ஆண்டு சூரியப் புள்ளிச் சுற்றின் (eleven year sun spot cycle) பெருமத்திற்கு அருகில் அநேகமாக ஒரு மணிக்குப் பல கிளர்ச்சிகள் சராசரி வீதத்தில் தோன்றுகின்றன. இத்தகைய கிளர்ச்சிகள் சிறியவைகளாகும். இச் சிறிய கிளர்ச்சிகள் படத்தில் காட்டப்பட்ட III-ம் வகை சூரிய வெடிப்புகளை உண்டாக்குகின்றன. மேலும் இவ் வெடிப்புகள் ஒரு சில விநாடிகளே நிலைத்திருந்தாலும் அவை படத்தில் காட்டியபடி கூட்டங் கூட்டமாகத் தோன்றும். ஒரு தனிப்பட்ட வெடிப்பு மெல்லிய கோட்டைப் போலவும், அது செங்குத்து திசையில் இருந்து வலப் பக்கம் சிறிது சாய்ந்தும் தோன்றும். அதாவது, இதிலிருந்து நேரம் ஆக ஆக வெடிப்பின் அதிர்வெண் 600 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (அலை நீளம் 15 செ. மீ.)-லிருந்து 25 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி ஆகக் குறைகின்றது என்று தெரிகின்றது. அதற்குப் பின் பதிவு செய்வது இயலாது.

ஒரு வருடத்தில் அதிக அளவுடையதும் பெரியதுமான சில கிளர்ச்சிகள் சூரியனில் தோன்றுகின்றன என்பதையும் கண்டு பிடித்து உள்ளனர். இவை தோன்றி ஒருசில நாட்களில் புவி காந்தப் புயல்களும், துருவ ஒளிகளும் (Aurorae) தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன இத்தகைய கிளர்ச்சிகள் வியக்கத்தக்க முறையில் பயங்கர வெடிப்புகளையும் அல்லது படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள II-ம் வகை வெடிப்புகளையும் தோற்றுவிக்கின்றன. இதைப் பின் தொடர்ந்து III-ம் வகை வெடிப்புகள் கிளர்ச்சி தோன்றியவுடனே உண்டாக்கப்படுகின்றன. II-ம் வகை வெடிப்புகள் ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட குறுகிய அகலத்தையுடைய பட்டைகளை உண்டாக்கும் தன்மை வாய்ந்தவை, அத்துடன், அதிக அதிர்வெண்ணிலிருந்து குறைந்த அதிர்வெண்ணிற்குத் தாவும் தன்மை வாய்ந்த தோற்ற அமைப்பையும் கொண்டுள்ளன. இது III-ம் வகை வெடிப்புகளிலிருந்து பல வழிகளில் மாறுபட்ட தன்மையைக் கொண்டது, முதலாவதாக அவற்றின் அதிர்வெண் மாற்றங்கள் மிக மெதுவாக நடைபெறும். இரண்டு II-ம் வகை வெடிப்புகள் ஒரே நேரத்தில் தோன்றினால் அவற்றின் முக்கியத் தன்மைகள் வெவ்வேறு அதிர்

வெண் பகுதிகளால் உண்மையான முறையில் எதிரொளிக்கப் படும். கதிர் வீச்சை வெளிவிடும் மூலம் அடிப்படை அதிர்வெண் ணிலும் இரண்டாவது சீரிசை அதிர்வெண்ணிலும் ஆற்றலை வெளி விடுகின்றது என்பதை இது காட்டுகிறது. இத்தகைய கதிர் வீசல் முறை III-ம் வகை வெடிப்புகளிலும் சில சமயங்களில் நடை பெறுகின்றது; ஆனால் இத்தகைய வெடிப்புகள் தொடர்பற்ற முறையில் நடைபெறுகின்றன.

அமைதிச் சூரியனின் கதிர் வீசலும் மெதுவாக மாறும் கூறை யும் ஒரு சாதாரண வெப்பப் பொருளிலிருந்து வரும் வெப்பக் கதிர் வீசல் முறையில் விளக்கலாம் என்பதை முன்னரே பார்த் தோம். ஆனால் II. III வகை வெடிப்புகளை இம் முறையில் விளக்க முடியாது; ஏனெனில், இத்தகைய வெடிப்புகளிலிருந்து வெளிவரும் கதிர் வீச்சு, ஒரு வெப்பப் பொருள் வெளியிடும் கதிர் வீச்சைப்போல் 10,000 மடங்கு அதிகமாக இருக்கின்றது. அத் துடன் இவற்றின் விரைவாக மாறுபடும் நிறமாலைகளும் அந் நிறமாலைகளின் குறுகிய அகலமும் இவ் வெடிப்புகள் சிங்க்ரோட் ரான் (synchrotron) முறையிலும் உற்பத்தியாவதில்லை என்பதைக் காட்டுகின்றன. எனவே இவை ஒழுங்குபடுத்தப்பட்ட அயனிக் கூட்டங்களின் இயக்கத்தால்தான் வெளியிடப் படவேண்டும். மிக்க திறமையுடன் கதிர் வீசல் வெளிவிடப்படவேண்டும் என்றால் இந்த அயனிக் கூட்டங்களின் பரிமாணங்கள் ஓர் அலை நீளத்திற்கும் குறைவானதாக இருக்கவேண்டும். அதாவது, 1 மீட்டருக்குக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். ஓர் அயனிக் கூட்டத்தில் $N$ எலக்ட்ரான்கள் இருந்து, அவை எம்முறையி லாவது முடுக்கப்பட்டால் அதன் கதிர் வீச்சுத் திறன் ஓர் எலக்ட் ரானால் வெளிவிடப்படும் ஆற்றலைப்போல் $N^2$ மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். அதாவது, ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானின் கதிர் வீச்சுத் திறன் $N$ மடங்கு அதிகரிக்கிறது. இதைத்தான் தூண்டி எழுப்பிய வெளியீடு (stimulated emission) என அழைக்கிறோம்.

எலக்ட்ரான்கள் எவ்விதம் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு கூட்டமாக அல்லது திரளாக ஆகின்றன என்பதைப் பற்றி முன்பே விளக்கி னோம். செரன்கோ (Cerenkov)க் கதிர் வீச்சு வெளியீட்டில் அதிர்ச்சி மின்னேற்ற அலைகளால் (shock-space-charge waves) ஏற்கெனவே உள்ள எலக்ட்ரான் கூட்டத்தை நோக்கி மற்ற எலக்ட்ரான்கள் வரும்பொழுது அவற்றின் வேகத்தைக் குறைக்க லாம். இரு எலக்ட்ரான் கூட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள மற்ற எலக்ட்ரான்களைச் சிக்கச் (trop) செய்யலாம். இத்தகைய அமைப்பு களெல்லாம் அடிப்படைத் தத்துவத்தில் ஒத்திருக்கின்றன. இரு

எலக்ட்ரான் கூட்டங்களும் தங்களுக்கிடையில் இருக்கும் மற்ற எலக்ட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைக்கின்றன. எனவே சில எலக்ட்ரான்கள் இடப் புறமுள்ள கூட்டத்தோடும், சில எலக்ட்ரான்கள் வலப் புறமுள்ள கூட்டத்தோடும் சேர்ந்துவிடுகின்றன. இதனால் எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் அளவு தொடர்ந்து அதிகரிக்கிறது.

II, III வகை வெடிப்புகள் ஒளி வட்டங்களில் வெகு வேகமாக இயங்கும் அமைதியின்மையுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கின்றன. இத்தகைய அமைதியின்மைப் பகுதியின் முன் விளிம்பு, துளைத்துச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டிருக்கும். இதனால் எலக்ட்ரான் கொத்துகள் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு துளைத்துப் பாயும் எலக்ட்ரான் திசைவேகம் $v$ எனில், எலக்ட்ரான் கூட்டங்களின் சிறும உருவம் சுமார் $\frac{v}{2f_0}$ இருக்கும். இதில் $f_0$ என்பது பிளாஸ்மாவின் ஒழுங்கியைவு அதிர்வெண் (பிளாஸ்மா என்பது அயனியாக்கம் அடைந்த வாயு மண்டலம்). இந்த எலக்ட்ரான் கூட்டங்கள் சுமார் $v$ திசை வேகத்தில் நகரும்பொழுது ரேடியோ அலைகளைத் தோற்றுவிக்கலாம். இந்த ரேடியோ அலைகளின் செறிவு ஒரு கரும்பொருள் கதிர் வீச்சுத் திறனின் வரம்புக்குமேல் எவையேனும் மூன்று வெவ்வேறு வழிகளில் அமையலாம்.

இம் மூன்று வழிகளில் இரு முறைகள் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளன. முதலாவது, ஜைரோ கதிர் வீச்சு (gyro-radiation); இரண்டாவது, அசாதாரண ரேடியோ அலைகளின் செரன்கோக் கதிர் வீச்சாகும். இவ் விரண்டு வழிகளிலும் கதிர் வீச்சு நிறமாலை, பிளாஸ்மாவின் ஒருங்கியைவு அதிர்வெண் $f_0$-ன் உச்சத்தை (peak) அடைவதில்லை. மாறாக, எல்லாப் பரிசோதனை முடிவுகளும் $f_0$ அதிர்வெண்ணிலும் $2f_0$ அதிர்வெண்ணிலும் குறிப்பிடத்தக்க உச்சத்தை அடைவதைக் காட்டின. இதிலிருந்து மேற்கூடிய இரண்டு கதிர் வீச்சு வெளியீடு முறைகள் II, III-ம் வகை வெடிப்புகளுக்குப் பொறுப்பு அல்ல என்பது தெளிவாகிறது.

மூன்றாவது வகையைப் பற்றி இப்பொழுது பார்ப்போம். இரண்டு எலக்ட்ரான் கூட்டங்கள் ஒன்றோடொன்று மோதிக் கொள்வதனால் கதிர் வீச்சு வெளிப்படலாம். ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு புரோட்டானால் மோதப்பட்டு சிதறும்பொழுது வெளியாகும் கதிர் வீசலைப் போல் ஓர் எலக்ட்ரான் கூட்டம் மற்றோர் எலக்ட்ரான் கூட்டத்தைக் கடந்து செல்லும் பொழுதோ அல்லது புரோட்டான் கூட்டத்தைக் கடந்து செல்லும்பொழுதோ கதிர்வீச்சாற்றலை வெளி

விடும். II, III-ம் வகை வெடிப்புகளோடு தொடர்பு கொண்டு வெகு விரைவில் செல்லும் ஓர் அமைதியின்மையினுல் கொந்தளிப்புப் (turbulent inter-streaming) பகுதிகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இப் பகுதிகளில் மின்னேற்றமுடைய கூட்டமோ அல்லது மின்னேற்றமுடைய அலைகளோ தோன்றுகின்றன. இத்தகைய அலைகள் எல்லாத் திசைகளிலும் '$v$' திசை வேகத்தில் பரவுகின்றன. இரு அயனிக் கூட்டங்களின் சிறுமப் பரிமாணங்கள் $d = \frac{v}{2f_0}$ ஆக இருக்கும்பொழுது அவை மோதிக் கொண்டால் பெரும அளவு கதிர் வீச்சாற்றல் வெளிவிடப்படும். இதற்கான ரேடியோத் துடிப்பின் நேரம் $\frac{2d}{v}$ அல்லது $\frac{1}{f_0}$ ஆக இருக்கும். அப்பொழுது பெரும அளவு அதிர்வெண் $f_0$ ஆகும் (நேரத்தின் தலைகீழ் மதிப்பு). இதற்குக் குறைவான அதிர்வெண் கொண்ட கதிர்வீச்சுகள் அங்கேயே உட்கவரப்பட்டு வருகின்றன. ஆகவே வெளியிடப்பட்ட கதிர்வீச்சு நிறமாலை குறுகிய அகலத்துடனும் பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_0$-க்கு அருகிலும் இருக்கும். எனவே, II-ம் வகை, III-ம் வகை வெடிப்புகளின் முதன்மைத் தன்மைகள் மேற்கூறிய கோட்பாட்டின் மூலம் விளக்கப்பட்டுள்ளது என்பது தெரிய வருகிறது. $N$ அயனிகள் சேர்ந்த ஒரு கூட்டத்தின் அமைப்பு, கதிர்வீச்சு வரம்பை ஒரு கரும்பொருளின் வெளிவிடு வரம்பைப் போல் $N$ மடங்கு அதிகரிக்கச் செய்கிறது. சிறு கூட்டங்கள் கூட $N$-க்கு மில்லியன் மதிப்பைக் கொடுக்கின்றன. இது நிறமாலையில் காணப்படும் ஆதிகச் செறிவை விளக்கத்தக்கதாக உள்ளது. அதிக ஆற்றல் மிக்க பெரிய கூட்டங்கள் இரண்டாவது சீரிசைக் கதிர் வீசலைக் கொடுக்கின்றன. முடிவாக, இக் கதிர் வீசல், தளவிளைவு அடைவதில்லை என்பதும் தெரிய வருகிறது.

### அகன்ற பட்டையுடைய ரேடியோ வெடிப்புகளும் இரைச்சல் புயல்களும் (Broad band radio bursts and noise storms)

படம் 7·6-ல் அகன்ற அதிர்வெண் பட்டையையுடைய நான்கு வகை வெடிப்புகளைப் பார்க்கிறோம். இவற்றுள் II, III-ம் வகை வெடிப்புகளைவிட மற்றவை மெதுவாக மாறுபடும் தன்மைகளைக் கொண்டு உள்ளன. இவற்றுள் IV-ம் வகையைப் பற்றி ஃபிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானி டேனிசும், அவரது சீடர்களும் விரிவாக ஆராய்ச்சி நடத்தினர். இந்த IV-ம் வகை வெடிப்புகள் மீட்டர் அலை நீளங்களில் ஆராயப்பட்டன. இப்பொழுது நாம் விளக்கப் போகும் கதிர்வீச்சு மேற்கூறிய வகையைக் கொண்டது அல்ல. IV-ம் வகை வெடிப்புகளின் செறிவு மிக அதிகமாகவும் குறிப்பிடத்

தக்க அளவிற்கு நிலையாகவும் இருக்கின்றது. இது II-ம் வகை வெடிப்பைப் பின்பற்றியும் அதற்குத் தொடர்புள்ளது போலவும் தோன்றுகிறது. IV-ம் வகை வெடிப்பு சில நிமிடங்களோ அல்லது சில மணி நேரமோ நீடித்திருக்கின்றது.

பரிசோதனை மூலம் எடுக்கப்பட்ட அளவுகள் இந்த IV-ம் வகை வெடிப்புகள் சில மில்லியன் கிலோ மீட்டர் உள்ள ஒளி வட்டங்களின் உயர் பகுதிகளிலிருந்து தோன்ற வேண்டும் என்று காட்டுகின்றன. IV-ம் வகை வெடிப்பு பொலிவு வெப்பநிலை 10,000 மில்லியன் டிகிரி கெல்வினை எட்டும் என்பதைக் காட்டு கிறது. இதனால் இவை வெப்பத்தினால் தோற்றுவிக்கப்படுவன அல்ல என்பது தெளிவாகிறது. எனவே இத்தகைய அலைகளைத் தோற்றுவிப்பது சிங்க்ரோட்ரான் (synchrotron) முறையில்தான் முடியும்.

கீழ்க்காணும் தொடர்ச்சியான நிகழ்ச்சிகள் சூரிய செந்நிறக் கோளத்தில் ஏற்படும் கிளர்ச்சிகளையும் வெடிப்புகளையும் பின் தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றன என்று காட்டுகின்றன. இத்தகைய திடீர் வெடிப்புகளினால் வினாடிக்குச் சுமார் 1500 கி. மீ. வேகத்தில் மாபெரும் அயனியாக்கம் அடைந்த வாயு மேகங்கள் வெளித் தள்ளப்படுகின்றன. தள்ளப்பட்ட மேகத்தில் முன்னே செல்லும் விளிம்பிலிருந்து II-ம் வகை வெடிப்புகள் ஒருக்கால் தோற்று விக்கப்படலாம். இந்த அயனி மேகம் ஒரு காந்தப் புலத்தைத் தாங்கிச் செல்வதால், காஸ்மிக் கதிர்கள், எலக்ட்ரான்கள், புரோட் டான்கள் இக் காந்தப் புலத்தில் பிடிபட்டு வருகின்றன. மிக அதிக உயரம் சென்றவுடன் புரோட்டான்கள் இம் மேகத்திலிருந்து தப்பி வெளியேறி விடுகின்றன. இந் நிகழ்ச்சியை ஒரு சில மணி நேரங்களுக்குப் பின் பூமியிலிருந்து காணமுடியும். மேலும் பகுத் தறியும் கருவிகளை (detecting instruments) ராக்கெட்டுகளில் சுமந்து சென்று ஆராய்ச்சி செய்கிறார்கள். வேகமாகப் பயணம் செய்யும் சில எலக்ட்ரான்கள் இந்த ஒளிவட்டக் காந்தப் புலத்திலேயே தங்கி விடுகின்றன. அங்கு அவை காந்த விசைக் கோடுகளைக் சுற்றுகின்றன. அப்பொழுது காந்தப் புல முடுக்கத்தினால் அவை கதிர் வீசுகின்றன. இவ்வாறு கதிர் வீசும் எலக்ட்ரான்கள் மெது வாகத் தமது ஆற்றலை இழக்கின்றன. சில எலக்ட்ரான்கள் மெது வாகச் செல்லும் துகள்களில் மோதிக் கொள்வதனாலும் சில நேரங் களில் ஆற்றலை இழக்கின்றன. மற்றும் சில எலக்ட்ரான்கள் தமது அதிவேகத்தினால் கோள்களின் வளி மண்டலத்தில் சென்று தப்பித்து விடுகின்றன. இத்தகைய முறைகளில் ஆற்றல் செல வழிய ஒரு மணி நேரம் அல்லது அதற்கு மேலும் ஆகும். இந்த நேரத் தில் அதிக நிலையான கதிர் வீச்சுத் திறன் பராமரிக்கப்படுகிறது

மேற்கூறிய விளக்கத்தினுல் IV-ம் வகை வெடிப்புகள் ஏற்படுகின்றன என்ருலும் இக் கோட்பாட்டிற்கு ஒரு முக்கியமான எதிர்ப்பு உள்ளது. இந்த IV-ம் வகைக் கதிர் வீச்சுகள் சில சமயங்களில் பகுதி வட்டத் தள விளைவுறுகின்றன (partially circo-larly polarised). சிங்க்ரோட்ரான் கதிர் வீச்சு நேர்கோட்டிலோ அல்லது பல்வேறு வகையிலோ தள விளைவுறுகிறது (randomly polarised). IV-ம் வகை கதிர்வீச்சு மறைவதற்குள் மற்ருெரு வகைக் கதிர்வீச்சு தோன்றுவதாகக் கொண்டு இதை விளக்கலாம். இந்த மற்ருெரு வகைக் கதிர்வீச்சைத்தான் I-ம் வகை அல்லது இரைச்சல் புயல் கதிர் வீசல் (noise storm radiation) என்கிருேம். இத்தகைய கதிர் வீசல் படம் 7·6-ல் காட்டப்படவில்லை. ஆனுல் இந்த இரைச்சல் புயல் கதிர் வீசலைக் கீழ்க்கண்டவாறு விவரிக்கலாம்.

எவ்வாறு II-ம் வகை வெடிப்புகளைப் பின் தொடர்ந்து IV-ம் வகைத் தொடர் கதிர் வீசல் வருகிறதோ, அதேபோல் V-ம் வகைத் தொடர் வெளியீடும் II-ம் வகை வெடிப்புகளைப் பின் தொடர்கின்றதைப்போலத் தோன்றுகின்றது. இக் கதிர்வீசலைப்பற்றி நெடுங்காலமாக ஆராயப் படவில்லை ஏனெனில் அதன் தோற்றம் சந்தேகத்திற்குரியதாக இருந்தது; இதனுடைய தோற்றம் சிங்க்ரோட்ரான் கதிர் வீச்சாக இருக்கலாம்; ஆனுல் அதனுடைய மிகக் குறுகலான நிறமாலையும் வேகமான மாற்றங்களும் சில ஐயப்பாடுகளை எழுப்புகின்றன.

மிக அண்மையில்தான் இயக்க நிறமாலைகளைப் பயன்படுத்தி, அதிர்வெண் சுமார் 1000 மெகா சுற்றுக்களுக்கு மேல் உள்ள இந்த அகன்ற வரிப்பட்டைக் கதிர் வீசலைப் பற்றி ஆராய்ந்தனர். ஆனுலும் சுமார் 20 ஆண்டுகளுக்குமுன் ஒரே ஓர் அதிர்வெண் பதிவுக் காட்சிகளிலிருந்து இத்தகைய கதிர்வீசலைப் பற்றி ஓரளவு உண்மைகள் தெரிந்தன. இம் முடிவுகள் அதிர்வெண்கள் 24,000 மெகா சுற்றுகள் வரை ஒத்திருந்தன. ஆனுல் 3000 மெகா சுற்றுகளில் இவை மிக அதிகமாக இருந்தன. இந்த அதிர்வெண்களில் மெதுவாக மாறுபடும் கூறு இம் முதன்மையான மாற்றங்களுக்குக் காரணமாக இருந்தது; ஏதாவதொரு சமயத்தில் திடீரென்று ஒருசில விழுக்காடு அளவிற்கு அதிகரித்துப் பின் குறையாமல் இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்தத் திடீர் அதிகரிப்பிற்கு மேற்கூறிய வெடிப்புகள் மூலம் விளக்கம் தரமுடியாமற் போயிற்று. ஆனுல் இவை திடீரென்று வெப்பப் படுத்தப்படும் (suddenly heated) பகுதிகளிலிருந்து வெளிவிடும் வெப்பக் கதிர் வீசல் மூலம் எளிதான முறையில் விளக்கப்பட்டன. எனவே

படம் (7·6)-ன் அடிப்பாகத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள கதிர் வீசல் மெதுவாக மாறுபடும் கூறைப்போல வெப்பத்தினுல் தோன்றியிருக்கலாம்.

சூரிய ரேடியோக் கதிர் வீசலில் மற்ருெரு வகையும் உள்ளது. இக் கதிர் வீச்சின் தோற்றம் அலைக்கொள்கை (wave theory) யில் புதிய கருத்துகளைத் தருகிறது. இக் கதிர் வீச்சுதான் 1942-ல் பிரிட்டிஷ் இராணுவ ராடார் அமைப்புகளில் கடுமையான குறுக்கீட்டு விளைவுகளைத் தோற்றுவித்தது. பின்னர்தான் இக் கதிர் வீசலுக்கு "இரைச்சல் புயல்" (noise storm) என்று பெயர் சூட்டப்பட்டது. இதன் குறிப்பிடத்தக்க குணம் என்னவெனில், இது நீண்ட நேரம் நீடித்திருக்கும் தன்மை வாய்ந்தது. இந்த இரைச்சல் புயல் ஒரு நாள்கூட நீடித்திருக்கிறது. இரைச்சல் புயல்கள் மீட்டர் அலை நீளங்களில் நிகழ்கின்றன. 100-லிருந்து 150 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி அல்லது 50-லிருந்து 300 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி வரையிலுள்ள அகன்ற பட்டை அகலங்களில் இவை நிகழ்கின்றன. இப்படித் தொடர்ச்சியாக நிகழும் கதிர் வீசலுக்கு I வகைத் தொடர்பம் (continuum) என்பது பெயர். மேலும் குறைந்த நேரத்தில் இயங்குகின்ற குறுகிய பட்டைகளும் உள்ளன. இந்தப் பட்டைகள் அவற்றின் அதிர்வெண் மையத்திலிருந்து (mid frequency) ஒரு விழுக்காட்டுப் பட்டை அகலமும், $\frac{1}{10}$ விஞடியுமே இயங்கக் கூடியனவாகவும் உள்ளன. இவற்றிற்கு I வகை வெடிப்புகளென்பது பெயர்.

மற்ற இடையூறுகளிலிருந்து இரைச்சல் புயல்களை வேறு விதங்களிலும் பிரித்துக் காணலாம். அவையாவன: (1) அவற்றின் வலிமை மிக்க வட்டத் தள விளைவு; (2) அவற்றின் அதிர்வெண் 300 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-க்கும் குறைவாக இருத்தல். மற்ற வெடிப்புகளைப்போல் இரைச்சல் புயல்கள் சூரியக் கிளர்ச்சியுடன் நெருங்கியத் தொடர்பு உடையனவாகக் காணப்படவில்லை. இது வேருெரு காரணத்தினுலும் தோன்றலாம். அதாவது, இரைச்சல் புயல்கள் சூரியப் புள்ளிகளுக்கு வெகு உயரத்தில் தோன்றுகின்றன. ஆனுல் சூரியப் புள்ளிகள் சூரியத் தட்டின் (solar disk) மையத்திற்கு அருகில் இருக்கும்பொழுது மட்டுமே இரைச்சல் புயல்கள் காணப்படுகின்றன. இதிலிருந்து இரைச்சல் புயல் கதிர் வீசல் எல்லாத் திசைகளிலும் சூரியனிலிருந்து வெளிவிடப்படுகிறது என்றும், ஆனுல் ஒரே அளவில் வெளிவிடப்படவில்லை என்றும் தெரிகிறது. இவ்வாறு இரைச்சல் புயல் சூரியக் கிளர்ச்சி தோன்றியவுடனே கிளம்பலாம்; ஆனுல் சூரியப் புள்ளி சூரிய வட்டத்தின் மையத்திற்கு நகரும் வரை இரைச்சல் புயல் பூமியில்

உணரப்படாமற் போகலாம். படம் 7·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பில் ஒரு பகுதியாக இரைச்சல் புயல்கள் இப்பொழுது கருதப்படுகின்றன. இவை IV ஆம் வகை வெடிப்புகள் தோன்றிய பிறகோ அல்லது அவை தோன்றிக் கொண்டிருக்கும் பொழுதோ கூடத் தோன்றுவதாக அறியப்படுகின்றன. இந்த இரைச்சல் புயல்கள் மற்றெல்லாக் கதிர் வீசல்களும் மறைந்த பிறகும் கூட சிறிது நேரம் நீடிக்கும். இரைச்சல் புயல் கதிர் வீசல் IV-ம் வகை வெடிப்புடன் மேற் பொருந்தும்பொழுது (over lapping) அவற்றின் தள விளைவிற்குக் காரணமாகலாம் என்றும் கருதப்படுகிறது.

நான்கே (Nancay)யில் 1·7 மி. மீ. அலைநீளத்தில் இயங்கு கின்ற பெரிய கீற்றணிக் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி இரைச்சல் புயல் களைப் பற்றி ஆராய்வதற்குப் பயன்படுகிறது. கிழக்கு மேற்காக நான்கு நிமிடக் கோணம் வரைத் துல்லியமும், வடக்குத் தெற்காக 10 நிமிடக் கோணம் வரைத் துல்லியமும் கிடைக்கும்படியாக இந்தக் கீற்றணிக் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி இரைச்சல் புயல்களின் இருப்பிடத்தை வரைபடத்தில் காட்டுகிறது. சூரியன் சுழலும் பொழுது இரைச்சல் புயல்களின் திசை வேகத்தை அறிந்து சூரிய ஒளி வட்டத்திற்குமேல் அவற்றின் உயரங்களைக் கணக்கிடலாம். அவை பொதுவாக 300,000 கி. மீட்டர்களுக்கும் 700,000 கி. மீட்டர்களுக்கும் இடையில் அமைந்துள்ளன.

இரைச்சல் புயல் கதிர்வீசல் வெப்பக் கதிர்வீசலாக இருக்க முடியாது. ஏனெனில். அவற்றின் செறிவு மிக அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. அவை சிங்க்ரோட்ரான் கதிர்வீசலும் அல்ல. ஏனெனில், அவற்றின் நிறமாலை, மிகவும் குறுகலாக இருக்கிறது. மேலும் தள விளைவு, இரைச்சல் புயல்களுடன் தோற்றத்தில் ஒத்ததாக அமையவில்லை. II, III-ம் வகை வெடிப்புகளைப் போல் இரைச்சல் புயல்களும் கரும்பொருளின் எல்லைக்கு அப்பாற் பட்டவை என்று முடிவு செய்தாக வேண்டும். இவை எலக்ட்ரான் கூட்டங்களின் ஒழுங்கான இயக்கத்தினால் ஏதோ ஒரு வகையில் தோற்றுவிக்கப் படவேண்டும் எனக் கருத வேண்டியுள்ளது. அதாவது, இரைச்சல் புயல்கள் தூண்டி, எழுப்பு மறைக்கதிர் வீசலினால் உண்டாகின்றன. இருந்தபோதிலும் எலக்ட்ரான் கூட்டங் களினால் ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தி செய்யப்படும் முறை II, III ஆவது வகை வெடிப்புகள் ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்யும் முறையிலிருந்து மாறுபட்டிருக்க வேண்டும். எலக்ட்ரான் கூட்டங் கள் மோதுதலால் இவ்வளவ ஆற்றலை வெளிவிடுவது ஒரு கட்டுப் பாடான முறையில் பிளாஸ்மா அதிர்வெண் $f_0$-க்கு அருகில் நிகழ் கிறது. மேலும் கதிர் வீசல் தளவிளைவுற்றதாக இல்லை. மாறுக·

இரைச்சல் புயல்கள் ஓர் அகன்ற தொடர்ச்சியான நிறமாலையையும் சில சமயங்களில் அதன் குறுக்கே மிகவும் குறுகிய பட்டை வெடிப்புகளையும் கொண்டுள்ளன. மேலும் இந்தக் கதிர்வீசல் முழுவதும் வலிமைமிக்க வட்டத் தள விளைவுடையதாக இருக்கின்றது. தள விளைவின் திசை சாதாரண அல்லது O-அலையின் திசையில் இருக்கிறது. எனவே I-வது வகை தொடர்பம் வெடிப்புகள் ஆகியவை எலக்ட்ரான் கூட்டங்கள் முடுக்கம் பெறுவதால் ஏற்படவேண்டும். இக் கூட்டங்கள் மோதலால் ஏற்படுபவை ஆகா.

சூரியனைச் சுற்றியுள்ள காந்தப் புலத்தைப் பொறுத்துக் கதிர்வீசல் இரண்டு விதங்களில் தோன்றுகிறது. ஒரு தனி எலக்ட்ரானைப் போல எலக்ட்ரான் கூட்டங்களும் இந்தப் புலத்தில் ஒரு காந்த விசைக்குழாயைச் சுற்றி ஒரு சுருள்வில் பாதையில் செல்கின்றன. இவ்வியக்கம் இருவிதங்களில் ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்ய வேண்டும். ஒன்று, ஜைரோ முறை (Gyro-process). ஏனெனில், எலக்ட்ரான்கள் புலத்தினால் முடுக்கப்படுகின்றன. இரண்டாவது, சிரன்காவ் (Cerenkov) முறை. ஏனெனில் எலக்ட்ரான்கள் அசாதாரண அலைகள் அல்லது $E$ அலைகளைவிட வேகமாகச் செல்கின்றன. பிந்தைய வகையில் ஓர் அதிர்ச்சி அலையும் உண்டாகிறது. துரதிர்ஷ்ட வசமாக இரண்டு முறைகளிலும் $E$ அலைகள் மட்டுமே உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. இந்த $E$ அலைகள் சூரிய வளி மண்டலத்திலிருந்து தப்பித்து வர முடியாது. அப்படி வந்தாலும் அவற்றை நாம் O-அலைகளாகத்தான் காண முடியும். இதை இரண்டு விதங்களில் விளக்கலாம். முதல் வகையில் அயனிக் கூட்டங்கள் பிளாஸ்மா அலைகளாகக் கருதப்படுகின்றன. இந்தப் பிளாஸ்மா அலைகள் சூரிய வளி மண்டலத்தின் வழியாகக் கதிர்வீசலைப் பரப்பக் கூடும். இக் கதிர் வீசலின் திசைவேகம் பிளாஸ்மாவின் அடர்த்தியையும் காந்தப் புலத்தின் செறிவு, திசைவேகம் ஆகியவற்றையும் பொறுத்து அமைகிறது. தகுந்த சூழ்நிலையில் கதிர்வீசலின் திசைவேகம் ஒளியின் திசைவேகத்தை விட அதிகமாகலாம்; O-ரேடியோ அலைகளின் திசைவேகத்தை அடையலாம். இப்பொழுது பிளாஸ்மாவினால் உற்பத்தி செய்யப்படும் O-ரேடியோ அலைகள் சூரிய வளி மண்டலத்தைத் தாண்டி வரலாம். இக் கோட்பாடு 1955-ல் முதன் முதலாக ஆஸ்திரேலியாவில் தரப்பட்டது.

இரண்டாவது கோட்பாடு, எலக்ட்ரான் கூட்டங்களாலும், ஜைரோ, சிரன் காவ் முறைகளிலும் $E$ ரேடியோ அலைகள் உற்பத்தியில் இருந்து தொடங்குகின்றன. இந் நிகழ்ச்சிகள் மிக்க ஆற்றல்

வாய்ந்தவையாகும். இவை, தமது இயக்க ஆற்றலை மிக விரைவாக *E* ரேடியோ அலைகளுக்கு மாற்றுகின்றன. இவ்வலைகள் சூரிய வளி மண்டலத்தைத் தாண்ட முடியாது; ஆனால் O அலைகள் உற்பத்தியாகும் பகுதிகளுக்கு நகர்ந்து நேரடியாக O அலைகளையோ அல்லது முதலில் பிளாஸ்மா அலைகளையும் பின்னர் அவற்றிலிருந்து O அலைகளையுமோ தோற்றுவிக்கின்றன. இக் கோட்பாடு சிக்கல் நிறைந்ததாக இருந்தாலும் இரைச்சல் புயல்களின் நிறமாலை இயல்புகளைச் சிறப்பாக விளக்குகிறது. இந்த *E* அலைகளும் பிறகு O அலைகளும் கதிர் வீசலின் தொடர்பத்திற்குக் காரணமாகின்றன. அதாவது, சிரன்காவ் முறைக் கதிர் வீசலின் தொடர்பத்திற்கும் ஜைரோ முறைக் குறுகிய பட்டை வெடிப்புகளுக்கும் காரணமாக அமைகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. The sun and its influence — *By Ellison L. A.*
2. The solar system — *By G.. P.*
3. Micro wave radiation from the sun — *By South G. L.*
4. Radio frequency radiation from the quiet sun — *By S. F.*

# 8. சந்திரன், கோள்கள் ராக்கெட்டுகள், துணைக் கோள்கள் ஆகியவற்றிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகள்

(Radio waves from the Moon, Planets, Rockets and Satellites)

ஒளியியல், வானியல் ஆராய்ச்சியில் பெரும்பகுதி நமது நிலாவைப் பற்றியும், சூரியத் துணைக் கோள்களைப் பற்றியும், கோள்களைப்பற்றியும் ஆராய ஒதுக்கப்பட்டது. இவ்வாராய்ச்சிகள் சூரிய குடும்பத்தின் தோற்றத்தைப் பற்றிப் பொதுவாக ஒப்புக்கொள்ளத் தக்க கோட்பாட்டிற்கு வழி காட்டின. இதன் பயனாக, நமது விண்மீன் கூட்டத்திலுள்ள அநேக மில்லியன் விண்மீன்களைச்சுற்றி மற்ற பல கோளியியல் (planetary) அமைப்பு முறைகள் இருக்கவேண்டும் என்ற சாத்தியக் கூறுகள் தெரிய வந்தன. இவ்வாறு அநேக விண்மீன்கள், கோளியல் அமைப்புகளைக் கொண்டிருந்தால் பிறகு நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் எங்காவது நாகரிகம் கொண்ட உயிர் இனங்கள் இருக்க வேண்டும். எப்படியிருப்பினும் அந்தந்த இடத்திற்குரிய கோளியல் முறையை ஒளியியல் முறையில் ஆராய்வது சுலபமான காரியம் அல்ல. சில கோள்களின் மேற்பரப்புகள் மேகங்களினால் எப்பொழுதும் மறைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இச்சமயத்தில் தான் ரேடியோத் தொழில் நுணுக்கங்கள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. ஆகவே ரேடியோ வானியல், அண்ட வெளியைப் பற்றிய இரகசியங்களை நமக்கு மிகத் தெளிவான முறையில் விளக்குவதற்குப் பெருந் துணையாக உள்ளது.

சந்திரனிலிருந்தும், கோள்களிலிருந்தும் வரும் ஒளி, சூரிய ஒளி இவைகளில் எதிரொளிக்கப்பட்டு வருவதாகும். சந்திரக் கிரகணம் உண்டாகும்பொழுது பூமியினால் சூரியனின் நேரடி ஒளி துண்டிக்கப் படுவதால், சந்திரன் மங்கலான தாமிரச் சிவப்பு நிறத்தில் காணப்

படுகின்றது. ஒளியானது பூமியின் வளி மண்டலத்தில் சிதறடிக்கப் படுவதால் இவ்விளைவு உண்டாகிறது. ஒளி சிதறடிக்கப்படுகையில் பெரும்பான்மையான நீல ஒளிக்கூறு நீக்கப்பட்டுவிடுகிறது. சூரியன் வெளிவிடும் பெரும்பான்மையான ஆற்றல் கட்புலனுகும் நிறமாலையிலேயே இருக்கிறது. சிறுபான்மை ஆற்றல், சூரிய குடும்பத்தில் உள்ள பல்வேறு பொருள்களினுல் எதிரொளிக்கப் படுகிறது. ஒறு சிறு பங்கு ஆற்றல், இப்பொருள்களினுல் உட்கவ ரப்பட்டு அவைகளைச் சூடாக்குவதற்குப் பயன்படுகிறது. இம்முறை யில், நமது பூமி சுமார் $300°K$ வெப்ப நிலையில் பராமரிக்கப்பட்டு வருகிறது, சூரியனுக்கு அருகில் உள்ள கோள்கள் அதிவெப்பமாக வும், தொலைவிலுள்ள கோள்கள் குளிர்ச்சியாகவும் இருக்கின்றன. இதே கருத்தை மனிதனுல் உண்டாக்கப்பட்ட துணைக்கோள்களுக் கும் பொதுவாக உபயோகப்படுத்தலாம்.

புறச்சிவப்பு (infra-red), அதற்கும் அதிகமான அலை நீளங்க ளில் கோள்களை ஆராயும் பொழுது ஒரு புதிய நூதனக் காட்சி தெரிய வருகின்றது, எதிரொளிக்கப்படும் சூரியக் கதிர் வீச்சின் வலிமை குறைகின்றது; முக்கியமாக, கோள்களிலிருந்து வெளி விடப்படும் வெப்பக் கதிர் வீச்சின் வலிமை அதிகரிக்கின்றது. இத்தகைய வெப்பக் கதிர் வீச்சுகளை, சூரிய ஒளியை எதிரொளிக் கும் சந்திரன், கோள்கள் போன்றவைகளே தோற்றுவிக்கின்றன. இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்பட்டு வெளிவரும் வெப்பக் கதிர் வீச்சைப் பற்றி ஆராயும் பொழுது அப்பொருள்களைப்பற்றிய தன்மைகள் நமக்குத் தெளிவாகின்றன. ரேடியோ அலை நீளங்களில், எதிரொளிக் கப்படும் கதிர் வீச்சு மிகமிகக் குறைவு ஆகையால் வெளிவிடப்படும் கதிர் வீச்சை மட்டுமே நாம் ஆராய்கிறோம்.

சந்திரன், கோள்கள் ஆகியவைகளிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சு களைப் பற்றிப் பொதுவாகக் கோட்பாடுகளிலிருந்து வரையறுத்துக் கூற முடியும். ஒரு பொருளின் வெப்ப நிலை $0°K$-க்கு மேல் இருந் தால் ($-273°C$) அப்பொருள் வெப்ப-ரேடியோ அலைகளை (thermal radio waves) வெளிவிட வேண்டும். இரண்டாவதாக, அப்பொருள் ஒரு முழுமையான ரேடியோ அலைப் பரப்பியாகவோ அல்லது எதி ரொளிப்பானுகவோ இருக்கக்கூடாது. அதாவது அப்பொருள் தன்மேல் விழும் கதிர் வீச்சில் ஒரு பகுதியையாவது உட்கவர வேண்டும். மேற்கூறப்பட்ட தேவைகள், பாறை, நிலம் மற்றும் பூமியில் உள்ள சில முக்கியப் பகுதிகளினுல் பூர்த்தி செய்யப்படுகின் றன. இதிலிருந்து இவைகள் வெப்ப முறையில் ரேடியோ அலைகளை வெளிவிட வேண்டும் எனக் கருதலாம்.

ஒரு பொருள் ரேடியோ அலைகளை முழுமையாக உட்கவர்ந்தால் ('கரும் பொருள்'), அதனுடைய ரேடியோப் பொலிவை பகுதி 2-ல் உள்ள சமன்பாடு (2)-லிருந்து கணக்கிடலாம். ஆனால் உண்மை யான கதிர் வீச்சு அளவு மேற்கூறப்பட்ட சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடப்படும் அளவிலிருந்து சிறிதளவு குறைந்திருக்கும். ஏனெனில் பூமியைப்போல், சந்திரன், கோள்கள் ஆகியவைகளின் மேல் பரப்பு, பகுதி எதிரொளிப்பான் (Partial reflectors) களை ஒத்திருக்கின்றது. உண்மையான கதிர் வீச்சு ஆற்றலைச் சமன்பாடு (3)-லிருந்து கணக்கிடலாம்.

$$\left[ b = \frac{2K\, T_b}{\lambda^2} \right]$$

இதில் $T_b$ என்பது மேல் தள அடுக்குகளின் உண்மை வெப்ப நிலையை விடச் சிறிதளவு குறைவாகும். ஆகவே, $T_b$ ஐப் பொலிவு வெப்பநிலை (brightness temperature) என்று அழைக் கிறோம்.

கதிர் வீச்சை வெளிவிடும் பொருளிற்கும், சூரியனுக்கும் இடையில் உள்ள கோணம் மாறுவதை நாம் அளக்கும்பொழுது (காட்டாக: சந்திரன், கோள்கள் ஆகியவற்றிற்கும் சூரியனுக்கும் இடையில் உள்ள கோணங்கள் மாறும்பொழுது) அப் பொருள்களி லிருந்து வரும் கதிர் வீசல் ஒரு புதிய சுவாரசியத் தன்மையை ஏற்றுக் கொண்டுள்ளது. நாம் எதிர்பார்ப்பதைப்போல சூரியன் பக்கம் இருக்கும் ஒரு பொருளின் பகுதி இருள் பக்கம் இருக்கும் பகுதியைவிட வெப்பமாக இருக்கிறது. அப்பொருளின் வெப்பநிலை வேறுபாடுகள் குளிர்ச்சியடையும் வீதத்தையும் (cooling rate), அதன் மேற்பரப்புத் தன்மையையும் நமக்குக் காட்டுகின்றன. கோளியல் ரேடியோ ஆராய்ச்சிகளில், அதிசயிக்கத்தக்க ஒரு முடிவு என்னவெனில், வியாழனி (Jupiter) லிருந்து வரும் ரேடியோக் கதிர் வீச்சு மிகச் செறிவைக் கொண்டுள்ளதாகவும், மிக அதிக மாற்றங்களைத் கொண்டும் இருந்ததேயாகும். இத்தகைய கதிர் வீச்சு வெப்பத்தினால் தோற்றுவிக்கப்பட்டிருக்க முடியாது. எனவே இக் கதிர் வீச்சைப்பற்றி ஆராய்ச்சி வசீகரத் தன்மையைக் கொண்டிருந்தது.

1947-ல் ரஷ்யா அனுப்பிய முதல் துணைக்கோளிலிருந்து (Satellite) ரேடியோ வானியலில் ஒரு புதிய சகாப்தம் தோற்று விக்கப்பட்டது. நாம் எப்பொருளைப்பற்றி ஆராய்ச்சி செய் கிறோமோ, அப்பொருளுக்கோ அல்லது அதற்கு அப்பாலோ, ஒரு

பரப்பியை (transmitter) அனுப்ப வேண்டும். அப்பரப்பியிலிருந்து வரும் ரேடியோ சைகைகள் (signals) அப்பொருளைப்பற்றிய தகவல் களை நமக்கு எடுத்துக் கூற முடியும். இம்முறையில் பரப்பியுடன் மற்ற தொழில் நுணுக்கங்களைக் கொண்ட கருவிகளும் அனுப்பலாம். காட்டாக, ஆராயப்படும் பொருளின் காந்தப் புலத்தை அளப் பதற்குக் காந்தமானியை ராக்கெட்டில் வைத்து ரேடியோ பரப்பி யுடன் அனுப்பலாம். அங்குக் கிடைக்கும் தகவல்களை ரேடியோ பரப்பி மூலம் பூமிக்கு அஞ்சல் முறையில் (relay) அனுப்பலாம். இத்தகைய தொழில் நுணுக்கங்கள், ரேடியோ வானியலுடன் மற்ற தெரியியல், ஜீவ சாஸ்திர இயல் பிரிவுகளை இணைக்கின்றன.

**சந்திரனிலிருந்து வரும் கதிர்வீசல் (Radio waves from the moon)**

நாம் முன்பு கூறியபடி சந்திரன் புறச் சிவப்பு அலைநீளங்களில் கதிர்வீச்சை வெளிவிடுகின்றது. இவ்வாறு வெளிவிடும் கதிர் வீச்சைப் பற்றி அநேக ஆராய்ச்சிகளில் செய்யப்பட்டன. சந்திரக் கிரகணத்தின் போது, பூமியின் நிழல் சந்திரப் பரப்பின் மீது பரவப் பரவ புறச் சிவப்புக் கதிர்வீச்சு வெகுவாகக் குறைகிறது. இவ் வளவீடுகளிலிருந்து, குளிர்ச்சியடையும் வீதத்தைச் சந்திரனின் மேற்பரப்புத் தன்மைகளினுல் அனுமானிக்கப்பட்டது. திடமான பாறைகள் சந்திரனின் முக்கியமான கூறுகள் என்று முடிவு செய்யப் பட்டது.

சந்திரனிலிருந்து வெளிவரும் ரேடியோக் கதிர் வீச்சு அளவை 1946-ல் அளந்தார்கள். 1949-ல் 1·25 செ. மீ. அலைநீளத்தில் சந்திரனின் சுற்று முழுவதையும் ஆராய்ச்சி செய்ததாக, ஆஸ்தி ரேலிய நாட்டில் இருந்து வந்த செய்திகள் கூறுகின்றன. இவ் வாண்டில் பல ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டு வரிசையான அள வீடுகள் எடுக்கப்பட்டன. இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளின் மூலம், சந்திரன் தன்னைத்தானே ஒரு முறை சுழல ஒரு சந்திர மாதம் (lunar month) ஆகிறது என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இச் சுழற்சியால் சூரியனை நோக்கியிருக்கும் சந்திரனின் அரைக்கோளப் பகுதி தொடர்ச்சியாக மாறிக்கொண்டே இருக்கிறது. ஆனுல் பூமியிலிருந்து பார்க்கப்படும் சந்திரனின் அரைக்கோளம் எப் பொழுதும் ஒன்றே; ஏனெனில் சந்திரன் பூமியை ஒருமுறை சுற்ற இதே நேரம் எடுத்துக் கொள்கின்றது. அதாவது, சந்திரன் தனது அச்சை மையமாகக் கொண்டு தன்னைத் தானே ஒருமுறை சுழல ஆகும் நேரமும், சந்திரன், பூமியை ஒருமுறை தனது சுற்றுப் பாதையில் சுற்றிவர ஆகும் நேரமும் சமமாக இருக்கின்றன. இதனுல் கட்புலனுகும் (visible) சந்திர அரைக்கோளத்தின் மேல்

சூரியன் தோன்றுவதும், மறைவதுமாக இருக்கின்றது. இதனால் சந்திரன் வெப்பமும், குளிர்ச்சியும் மாறிமாறி அடைவதால் அது வெப்பமாகும்பொழுது அதிகமான ரேடியோக் கதிர் வீச்சு ஆற்றலையும், குளிர்ச்சி அடையும் போது குறைந்த ரேடியோக் கதிர் வீச்சாற்றலையும் முறையாக வெளிவிடுகின்றது.

சந்திரனின் ரேடியோப் பொலிவு அதன் சுற்று முழுவதும் அதிகரித்தும், குறைந்தும் காணப்பட்டது. அதன் தோற்ற வெப்ப நிலை சுமார் $200°K$-க்கும் $280°K$-க்கும் இடையில் மாறிக் கொண்டே இருக்கின்றது. இதில் குறிப்பிடத்தக்க சிறப்பு என்னவென்றால் சந்திரனின் பொலிவு பௌர்ணமி நாளில் பெருமமாக இருக்கவில்லை. ஆனால் பௌர்ணமிக்குப் பின் சுமார் 3½ நாட்கள் கழித்து அதன் பொலிவு பெரும மதிப்பு அடைகிறது. இதற்கு மாறாக, புறச்சிவப்பு அளவீடுகள், பௌர்ணமி நாளில் பெரும அளவைக் காட்டுகிறது. இது நாம் எதிர்பார்த்த முடிவேயாகும். அதாவது ரேடியோக் கதிர் வீச்சும், புறச் சிவப்புக் கதிர் வீச்சும் ஒரே சமயத்தில் அமைவதில்லை. மற்றும் ரேடியோப் பொலிவு வெப்பநிலையின் மாற்றங்கள் புறச் சிவப்பு வெப்பநிலை மாற்றங்களை விட 0·39 மடங்கு குறைந்து இருந்தன. இறுதியாக, ரேடியோ அலை வெப்பநிலை மாற்றம் புறச் சிவப்பு வெப்பநிலை மாற்றத்தைவிட அதிக அளவு சைன் வளைகோட்டை (sinusoidal) ஒத்திருந்தது. புறச் சிவப்பு வெப்பநிலை மாற்றம் சந்திர இரவின் போது தட்டையான வளைகோட்டின் அமைப்பை ஒத்துள்ளது.

ரேடியோ, புறச்சிவப்பு கதிர் வீச்சுகளில் காணப்படும் வேறுபாடுகள், இவைகள் இரண்டும் வெவ்வேறு இடங்களிலிருந்து வர வேண்டும் என்ற முடிவையே காட்டுகின்றன. இது பரிசோதனை செய்து நிரூபிக்கப்பட்டது. பாறை, அதையொத்த மற்ற பொருள்களின் மீது படும் புறச் சிவப்பு கதிர்வீச்சு, மிக மெலிந்த மேற்பரப்பு அடுக்குகளால் உட்கவரப்படுகின்றது. இதேபோல வெப்பமான பாறைகளின் மேற்பரப்பு அடுக்குகளால் புறச் சிவப்புக் கதிர் வீச்சு வெளிவிடப்படுகின்றது. மாறாக, 1·25 செ. மீ ரேடியோ அலைகள், பல தன்மைகளையுடைய பாறைகளை அநேக செ. மீட்டர்கள் வரை துளைத்துச் செல்லும். ஆகவே, பாறைகளின் தளப்பரப்பிற்குக் கீழ், பல செ. மீ. ஆழத்திலிருந்து ரேடியோ அலைகள் வெளிவரும். சந்திரனுக்குரிய நிலப்பரப்பின் மேல் சூரியன் மேலே கிளம்புகிறது; பின் இறங்குகிறது, நிலாப் பரப்பின் மென்மையான அடுக்குகள் நீரின் கொதிநிலைக்கு மேலும் வெப்பப் படுத்தப்படுகின்றன. சூரியன் மறைந்த பின், இந்த மென் பரப்புகளின் வெப்ப நிலை நீரின் உறை நிலைக்குக் கீழ் இறங்குகின்றன. ஆகவே மேற்

பரப்புகளின் வெப்பநிலையில் ஏற்றத் தாழ்வுகள் மிக அதிகம். இம் மேற்பரப்புகளுக்குக் கீழ் உள்ள அடுக்குகளின் வெப்பநிலையின் ஏற்றத்தாழ்வுகள் அவ்வளவு கடுமையாக இரா. பெரும, சிறும வெப்ப நிலைகள் முறையே பௌர்ணமிக்கும், அமாவாசைக்கும் பின்புதான் உண்டாகின்றன: ஏனெனில் வெப்ப அலைகள் தாழ்ந்த மட்டங்களை அடையச் சிறிது நேரம் ஆகிறது. அதேபோல் குளிர்ச்சியடையும் பொழுது தாழ்ந்த மட்டங்களிலிருந்து வெளிவர சிறிது நேரம் ஆகின்றது. இதனால் குளிர்ச்சியடையத் தாமத மாகிறது.

கணிதப் பகுப்பிற்குப் பின், வெப்பநிலை வீச்சில் ஏற்படும் ஏற்ற இறக்கங்களும். வெப்பநிலைப் பெரும மதிப்பை அடைவதில் ஏற்படும் தாமதமும் ஒரு தனிப்பட்ட சந்திரப் பொருளை வைத்துக் கொண்டு விளக்க முடியாது என்று கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. எனினும் இவைகளை இரண்டு பொருள்கள் மூலம் விளக்க முடியும். அதாவது திடமான பாறைகளுக்குமேல் படிந்துள்ள புழுதி (dust) மென்படலங்கள் இத்தகைய கதிர் வீச்சைக் கொடுக்கும் என விளக்க முடியும்.

பிறகு 0·8 செ. மீ -க்கும் 75 செ மீ-க்கும் இடையில் உள்ள அலை நீளங்களைக் கொண்ட சந்திரக் கதிர் வீச்சைப்பற்றி ஆராயப் பட்டது. ஒரு சில செ. மீ. அலை நீளத்திற்கு மேல் உள்ள கதிர் வீச்சில் வெப்பநிலை மாற்றங்கள் காணப்படவில்லை ஏனெனில், இந்த நீள அலைக்கதிர் வீச்சு அதிக ஆழத்திலிருந்து வெளிவரு கின்றது. இந்த ஆழத்தில் வெப்பநிலை மாற்றங்கள் மிக மிகக் குறைவு. மனிதன் சந்திரனில் சுமார் ஒரு மீட்டர் ஆழத்திற்குத் தோண்டி, சரியாக எவ்வளவு ஆழத்தில் வெப்பநிலை சீராக இருக் கின்றது என்பதைத் தெரிந்து கொள்வது ஒரு முக்கியமான குறிக் கோளாகும். சமீப காலத்தில் சந்திரனில் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சி களில் இதுவும் ஒன்றாகும். சந்திர மையக் கோட்டிற்கு (lunar equator) அருகில் வெப்பநிலை, பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலைக்குச் சற்றுக் குறைவாகவும், துருவங்களில் (poles) மேலும் குறைந்தும் இருக்கின்றது.

**கோள்களிலிருந்து வரும் வெப்பக் கதிர் வீசல் (Thermal radiation from the planets)**

கோள்கள் மிக அதிகத் தொலைவுகளில் இருப்பதால் அவைகளி லிருந்து வரும் வெப்பக் கதிர் வீச்சுகள் வலிமை குறைந்து இருக் கின்றன. எனினும் 1956-ல் வெள்ளி (Venus) பூமிக்கு அருகில் வந்தபொழுது U. S. ரேடியோ வானவியல் நிபுணர்கள், 50 அடி

விட்டத்தை உடைய U. S. கப்பற் படை பரவலையத்தை உபயோகித்து, 3·1 செ. மீ., 9·4 செ. மீ. அலை நீளங்களில் இதை ஆராய்ந்தார்கள். அதன் பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் 560°K ஆக இருந்தது. 1956-க்குப் பின் தொடர்ந்து 3 ஆண்டுகளில் துல்லியமாக ஆராய்ச்சி செய்து எடுத்த அளவீடுகள் ஒரு மாருத வெப்பநிலை (580°K) யைக் கொடுத்தன. அதாவது 300°C-க்கு அதிகமான மதிப்பைத் தந்தது. இது காரீயத்தின் உருகு வெப்ப நிலைக்குக் கிட்டத்தட்ட சமமாகும்.

இவ்வாராய்ச்சிகள் வெள்ளிக் கோளின் இருள் பக்கத்தில் செய்யப்பட்டவைகளே. இந்த இருள் பக்கத்தில் இருந்து இவ்வளவு உயர்ந்த ஆற்றலைக் கொண்ட கதிர்வீசல் வந்தது அதிசயிக்கத் தக்கதாக இருந்தது. இதற்குபின் 0·86 செ. மீ. குற்றலை நீளத்தில் ஆராய்ந்தபொழுது ஒரு நிலையற்ற முடிவைத் தந்துள்ளது. பொலிவு வெப்ப நிலை 250°K-க்கும் 570°K-க்கும் இடையில் உள்ள பல மதிப்புகளைக் கொண்டிருந்தது. இங்கு உயர்ந்த பொலிவு வெப்ப நிலை (570°K) முந்தைய ஆராய்ச்சிகளின் முடிவை ஒத்திருந்தாலும், தாழ்ந்த வெப்பநிலை வரம்பு (250°K) சரி என்று நிரூபிக்கப்பட்டால், இந்த அலைகள், நீள அலைகள் தோற்றுவிக்கப்படும் பகுதியை விடக் குளிர்ந்த பகுதிகளிலிருந்து தோற்றுவிக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும் என்று தெரிய வருகிறது.

உச்ச வரம்புப் பொலிவு வெப்ப நிலை 580°K, எதிர்பார்த்த அளவை விடச் சுமார் இரு மடங்காக இருப்பது பல வகைகளில் விளக்கப்பட்டது. சில கதிர் வீச்சுகள் வெப்பத்தினுல் வெளிவிடுவதில்லை. ஆனுல் இவைகளின் மாருத் தன்மை ஒரு வெப்பப் பகுதியிலிருந்து தோன்றுவதைத்தான் (thermal origin) புலப்படுத்துகிறது. இத்தகைய வெப்பத்தினுல் தோன்றும் கதிர் வீச்சை வெளிவிடும் பகுதியின் வெப்பநிலை குறைந்து 580°K இருக்க வேண்டும். ஆனுல் கோளியியலின் எளிய கோட்பாடுகள் மூலம் இந்த வெப்ப நிலையை அடைய முடியாது என்று காட்டப்பட்டது. வெள்ளி என்ற கோள் சூரியனுக்கு அருகில் இருந்தாலும் கூட இந்த வெப்ப நிலையை (580°K) அடைய முடியாது. எனினும் மற்ற முறைகளில், இந்த வெப்ப நிலையைப் பற்றி விளக்கினுர்கள். இதில் ஒரு விளக்கம் பின் வருமாறு: இவ் விளக்கத்திற்கு "பசுமை இல்லம் விளைவு" (green house effect) என்பது பெயர். இதன்படி, ஒரு பசுமை இல்லத்தின் உட்பகுதி அதன் வெளிப் பகுதியைவிட உயர்மட்ட வெப்பநிலையை அடைகின்றது. சூரியக் கதிர் வீச்சின் பெரும்பான்மையான ஆற்றல், கட்புலனுகும் நிற மாலை (visible spectrum) க்குள் அமைகிறது. இவ்வாற்றல் ஒரு

"பசுமை இல்லத்தின் வழியாகச் செல்லும் பொழுது அது வெப்பப் படுத்தப்படுகிறது. அத்துடன் சூரியக் கதிர் வீச்சு "பசுமை இல்லக் கண்ணாடிகளின்" வழியாக ஊடுருவி அதற்குக் கீழ் உள்ள பூமிக்கு வந்து சேர்கின்றது. இம் முறையில் பசுமை இல்லமும் வெப்பப்படுத்தப் படுவதால், இதுவும் அதே அளவுள்ள ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றது. ஆனால், இக் கதிர்வீச்சின் அலை நீளம் மிகவும் குறைவு. பசுமை இல்லத்தில் கண்ணாடிகள் இல்லாமல் இருந்தால், ஒரு சம நிலையை அடைந்துவிடும். ஆன போதிலும், மேற் கூறப் பட்ட கண்ணாடி பூமியில் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்திற்கும், புறசிவப்புக் கதிர்வீச்சுகளுக்கும் ஓர் ஒளி புகா ஊடகமாகச் செயல் படுகிறது. இதனால் இக் கதிர் வீச்சுகள் தடுக்கப்பட்டு, கண்ணாடியை வெப்பப்படுத்துகின்றன. இக் கண்ணாடிப் பசுமை இல்லத்தின் உட் பகுதி அதிக சூடாக்கப்படுகின்றது. இத்தகைய நிலை ஒரு கோளில் நடைபெறலாம்; கோளின் வளி மண்டலம் பசுமை இல்லத்தின் கண்ணாடியைப் போல் செயல்படுகின்றது. இதனால் கோளில் மேற் பரப்பில் இருந்து வரும் கதிர்வீச்சு அளவு அதிகப் படுத்தப்படுகின்றது. மாறாக, கோளின் வளி மண்டலம் ரேடியோ அலைகளுக்கு ஒளிபுகா ஊடகமாகச் செயல்பட்டால், அது வெப்ப ரேடியோக் கதிர் வீச்சை வெளிவிடும். ஒரு கோளின் வளி மண்டலம் சில சமயங்களில் மிக அதிக வெப்ப நிலைகளுக்கு உயர்த்தப்படலாம். இதன் காரணமாக எதிர்பார்க்க முடியாத அளவுக்கு உயர் மட்ட ரேடியோக் கதிர்வீச்சுகள் வெளிவிடப்படலாம்.

1956-ல் செவ்வாய் (Mars)க் கோளிலிருந்தும் கதிர் வீச்சு வருவது கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இக் கதிர் வீச்சின் பொலிவு வெப்பநிலை (brightness temperature) சுமார் $218°K$ ஆக இருந்தது. இது, புறச் சிவப்பு வெப்பநிலை $260°K$-க்குப் பக்கத்தில் இருக்கின்றது. புறச் சிவப்பின் வெப்பநிலை, உருகும் பனிக்கட்டி வெப்பநிலை ($273°K$) யை விடக் குறைந்திருக்கின்றது. அத்துடன் செவ்வாயின் பொலிவு வெப்பநிலை ($218°K$), அதன் மேல்தளத்தில் இருந்து வரும் வெப்பக் கதிர்வீச்சு வெப்ப நிலைக்குச் சமமாக இருந்தது. இதைப் போலவே 3 செ. மீ. அலை நீளத்தில் வியாழன் (Jupiter) பொலிவு வெப்ப நிலையும், வெப்பக் கதிர்வீச்சு வெப்ப நிலையும் ஒன்றையொன்று ஒத்திருந்தன. அத்துடன் வியாழன் வெப்பமற்ற (non-thermal) கதிர்வீச்சையும் நீண்ட அலை நீளங்களில் (10 செ. மீ) வெளி விடுகின்றது. மீட்டர் அலை நீளங்களில் வெடிப்புகளினால் உண்டாகும் கதிர்வீச்சையும் வெளிவிட்டது. நான்காவதாக, சனி (Saturn)க் கோளும் ரேடியோக் கதிர்வீச்சு அலைகளை வெளிவிடுவது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதிலும் சூடான மேல் அடுக்குகளிலிருந்து வெப்பத்தினால் தோற்றுவிக்கப்

படும் கதிர் வீச்சின் வெப்பநிலை, பொலிவு வெப்ப நிலையுடன் ஒத்திருந்தது.

**வியாழனிலிருந்து வரும் வெப்பமற்ற கதிர் வீசல் (Non-thermal radiation from Jupiter)**

கோள்களின் சூடான மேற்பரப்புகளிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகளின் வெப்பக் கதிர் வீசல் முறை, வருமுன் கூறப்பட்ட (prediction) ஒரு கருத்தாகும். ஏனெனில் 1956-ம் ஆண்டு வரை கோள்களிலிருந்து வரும் ஆற்றல் குறைந்த இக் கதிர்வீச்சுகளைக் கண்டுபிடிக்க முடியவில்லை. அருகில் உள்ள வெள்ளிக் கோளின் வளி மண்டலத்தில் மின் புயல்களினுல் (electrical storms) வெளிவிடப்படும் ரேடியோக் கதிர்வீசல்களை ஏற்கும் சாத்தியக் கூறுகளைப் பற்றியும் கருதப்பட்டு வந்தது.

1955-ல் U. S. ஆராச்சியாளர்கள், வியாழனிலிருந்து 13·6 மீட்டரில் மிகவும் வலிமை வாய்ந்த ஏற்ற இறக்கங்களையுடைய சைகைகள் வருவதாக அறிவித்தார்கள். இது மிகவும் வியப்பைக் கொடுக்கக்கூடிய செய்தியாக இருந்தது. இதனுல் புதுப்புது ஆராய்ச்சிகள் செய்ய மேலும் இவர்கள் முயற்சித்தார்கள். அத்துடன் இவர்கள் நேரடியாகப் பரிசோதனை மூலம் இதற்குமுன் பதிவு செய்யப்பட்ட அளவுகளையும் நிரூபிக்க முயன்றனர். 1950-51-ல் சிட்னியில் 18·4 மீட்டரில் பதிவு செய்யப்பட்ட காஸ்மிக் கதிர்வீச்சு தொடர்ச்சியான வெடிப்பு (bursts) களைக் காட்டியது. இவைகள் வியாழனிலிருந்து வந்திருக்கலாம் என்று கருதினுர்கள். இவைகளைப் பற்றி விரிவாக ஆராய்ச்சி செய்ததில், இவ் வெடிப்புகள் வியாழனிலிருந்து வருவதோடு அல்லாமல் சில மாதங்களுக்கு ஒரு முறை ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியிலிருந்து வருகின்றன என்றும் கண்டுபிடித்தார்கள். இக் குறிப்பிட்ட பகுதி கோள்களின் சுழற்சியால் மறைக்கப்பட்டபொழுது கதிர்வீச்சே வருவதில்லை. இக் கதிர்வீச்சு மூலத்தின் தீர்க்க ரேகை (longitude) யைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். இத் தீர்க்க ரேகையில் ஜோவியன் (Jovian) வளி மண்டலத்தின் ஒழுங்கற்ற பகுதி தெரிந்தது. இது முட்டை வடிவமான கருநிழலைச் சுற்றிப் பொலிவு மிக்க ஒளி வட்டத்தை உள்ளடக்கிக் கொண்டிருந்தது. இச் சமயத்தில் வியாழனிலிருந்து வரும் பெரும்பான்மையான கதிர்வீச்சு இக் குறிப்பிட்ட பரப்பிலிருந்து வருவதாகக் கருதப்பட்டது.

பல அலை நீளங்களில் வியாழனின் வெடிப்புகளைப் பற்றி ஆராய்ச்சி செய்ததில், அவ் வெடிப்புகளின் பட்டை அகலங்கள் சுமார் 20 மெகா சுற்றுகளைக் கொண்டிருந்தன. எனவே அவை

களின் அலை நீளங்கள் சுமார் 12 மீட்டரிலிருந்து 20 மீட்டர் வரை இருந்தன. ஒரு தனிப்பட்ட வெடிப்பு சில நிமிடங்களும், தொகுதியான வெடிப்பு சுமார் ஒரு மணி நேரமும் நீடிக்கின்றன. ஒவ்வொரு வெடிப்பிலிருந்தும் வெளிவரும் ஆற்றல் மிகமிக அதிக மானது. ஒரு தனிப்பட்ட வெடிப்பினுல் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் அநேக ஹைடிரஜன் குண்டுகளில் இருந்து வெளிவரும் ஆற்ற லுக்குச் சமமாக இருக்கின்றது. ஆனுல் இவ் வெடிப்புகளினுல் பூமியில் எவ்வித விளைவும் ஏற்படுவதில்லை என்பது நமக்கு மகிழ்ச்சியூட்டும் செய்தியாகும். பூமியில் நிகழும் ''கிரேகாட்டோ'' (Krakatoa) என்ற மிகப் பெரிய எரிமலை வெடிப்புகள் இத்தகைய ஆற்றலைக் கொண்டுள்ளன. ஆனபோதிலும், வியாழன் பூமியைப் போன்று 390 மடங்கு பெரியதாக இருப்பதாலும், அதன் மேற் பரப்பு, ஒளியியல் முறைப்படி, முழுவதும் அதனுடைய வளி மண்ட லத்தினுல் மறைக்கப்பட்டு விடுவதாலும், பூமியில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட நிகழ்ச்சிகள் ஏற்படலாம். ஆராயப்பட்ட ரேடியோ வெடிப்புகள் திடமாகத் தள விளைவுற் றிருப்பது ஓர் அற்புத நிகழ்ச்சியாகும். இது, வியாழன் ஒரு வலிமையான காந்தப் புலத்தைப் பெற்றிருப்பதைக் காட்டுகிறது. அத்துடன் வியாழனின் வளி மண்டலத்தின் வெவ்வேறு பகுதிகள் வெவ்வேறு கோண வேகங்களில் சுழலுவதாகத் தெரிகின்றது. இச் சுழற்சி காந்தப் புலத்தை முறுக்கச் செய்து ஆற்றலைச் சேகரித்து வைக்கின்றது. இவ்வாறு சேகரிக்கப்பட்ட ஆற்றல், சூரியனில் திடீரென்று கிளர்ச்சிகள் (flares) ஏற்படும்பொழுது விரைவாக வெளிவிடப்படலாம் என்று கருதப்பட்டது. கிளர்ச்சி களினுல் ஏற்படும் அதிர் வெடிகளைப்போல வியாழனிலும் அதிர் வெடிகள் (explosions) ஏற்படலாம். இதனுல் வெளிவிடப்படும் ரேடியோ அலைகள் சூரியனில் ஏற்படும் வெடிப்புகளுக்கு காரண மாக இருந்தன.

வியாழனிலிருந்து வெளிவரும் வெப்பக் கதிர் வீசலை அதிக நுட்பத்திறன் கொண்ட ரேடியோத் தொலைநோக்கிகளை உபயோ கித்துக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இக் கதிர் வீச்சு வெளிவிடு ஆற்றல் சுமார் 3 செ. மீ. அலை நீளத்தில் அளக்கப்பட்டது. எனினும் இதைவிட அதிக அலை நீளங்களில் அநேக எதிர் பார்க்காத முடிவுகள் கிடைத்தன. 3 செ. மீ. அலை நீளத்தில் பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் $180°K$ ஆக இருந்தது. இம் மதிப்பு வெப்பத்தினுல் தோற்றுவிக்கப்படும் வெப்பநிலையை ஒத்திருந்தது. 10 செ. மீ. அலை நீளத்தில் $600°K$-ம், 21 செ.மீ. அலை நீளத்தில் வெப்பநிலை $5000°K$-க்கும் $10,000°K$-க்கும் இடையிலும் இருந்தன. இவ்வலை நீளங்களில் வெளிவிடப்படும் கதிர் வீச்சு,

சமதளத் தள விளைவுற்றிருந்தது (plane polarised). இதன் மின் வெக்டர் (electric vector) வியாழனின் மையத் தளத்தில் அமைந்திருக்கின்றது. காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான் வியாழனின் காந்தப் புலத்தில் சிக்கிக்கொள்வதால், இவைகள் சிங்ரோட்ரான் கதிர் வீச்சை வெளிவிடுகின்றன என்று விளக்கப்பட்டது. வெகு வேகத்தில் வரும் எலக்ட்ரான்களும் புரோட்டான்களும் பூமியின் காந்தப் புலத்தில் சிக்கிக்கொள்கின்றன என்பதை வானத்தைத் துருவ அனுப்பப்படும் கருவிகளும், துணைக் கோள்களும் (satellites) காட்டுகின்றன. இவைகள் இரண்டு பெரிய 'கதிர் வீச்சுப்பட்டை' களின் (radiation belts) எல்லைப் பரப்பில் அமைந்திருக்கின்றன. இவற்றுள் ஒன்று பூமியிலிருந்து சுமார் 2,000 மைல்கள் உயரத்திலும், மற்றொன்று 10,000 மைல்கள் உயரத்திலும் உள்ளன. இந்தப் பட்டைகளில் சிக்கிக் கொண்ட துகள்கள், வியாழனிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சுக்குச் சமமான செறிவைக் கொடுக்க முடியாது. அதிகச் செறிவைக் கொண்ட கதிர் வீச்சுக்கு அதிக எண்ணிக்கையுடைய துகள்கள் தேவைப்படுகின்றன. குறைந்த ஆற்றலைக் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள் இக் கதிர் வீச்சை வெளிவிடுகின்றன என்ற மாறுபட்ட கருத்தும் நிலவியது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் 2·8$H$ மெகா சுற்றுகளில் ஜைரோக் கதிர் வீச்சைக் கொடுக்கின்றன. இதில் $H$ என்பது காந்தப் புலத்தின் வலிமையாகும். இம் முறைக் கதிர் வீச்சிற்குக் குறைந்தது 1200 காஸ் காந்தப்புல வலிமை இருக்கவேண்டும். எனவே கோள்களின் மேல் தளப் பரப்பில் இந்தக் காந்தப்புலம் இருக்கவேண்டும். இக் கோட்பாட்டில் ஜைரோக் கதிர் வீச்சு ஓர் அசாதாரணக் கூறு என்ற உண்மையைப் பலர் வன்மையாக எதிர்த்தார்கள். அத்துடன் இக் கூறு, கோளின் வளி மண்டலத்தைவிட்டு வெளியேறுமுன் ஒரு நிறுத்துப் பட்டை (band)யை சந்திக்கின்றது என்றும் கூறினார்கள்.

### ராக்கெட் செலுத்திய பரப்பிகளிலிருந்து வரும் சைகைகள் (Signals from rocket-launched transmitters)

முதன்முதலாகச் செலுத்திய பூமியின் துணைக்கோளில் இரண்டு ரேடியோ பரப்பிகள் வைக்கப்பட்டு அனுப்பப்பட்டன. செலுத்தப்பட்ட நாளிலிருந்து இவ்விரண்டு பரப்பிகளும் அறிவியல் வளர்ச்சிக்குத் தேவையான செய்திகளை அனுப்புகின்றன. இதன் பயனாக ரேடியோ வானவியல் என்ற ஒரு புதுப்பிரிவு தோன்றியது. அடுத்த மூன்று ஆண்டுகளில் வான வெளி ஆராய்ச்சியில் செலுத்தப்பட்ட முயற்சிகளில் அளவற்ற செய்திகள் நமக்குக் கிடைத்துள்ளன. 1961-ம் ஆண்டு, அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகள் சுமார் 1,000 மில்லியன் டாலர்களை இத்துறைக்குச் செலவழித்தது. இத்துடன் தேவையான ராக்கெட்டுகளை அமைக்கப் பல மடங்கு

நிதி ஒதுக்கப்பட்டது. இவ்வளவு பெரிய நிதித்தொகை ராணுவ வரவு செலவிலிருந்து (budget) கொடுக்கப்பட்டது. இத் தொகை, ராக்கெட்டுகள் செய்வதற்கும், ராக்கெட்டில் வைக்கப்பட்ட பல் வேறு விஞ்ஞானக் கருவிகள் செய்வதற்கும் செலவிடப்பட்டன. இத்தகைய கருவிகளில் செய்த ஆராய்ச்சிகள் மூலம். ரேடியோ வானவியலைத் தவிர புவித் தெரியியல் (geo-physics), ஒளியியல் வானவியல் (optical astronomy), காஸ்மிக் கதிர், சூரியத் தெரி யியல் (solar physics), பிளாஸ்மாத் தெரியியல் (plasma physics) போன்ற துறைகளும் வளர்ச்சியடைந்தன. இவைகள் எல்லாம் ஓரளவிற்கு ரேடியோ அலைகள் செலுத்துகையைச் சார்ந்திருக் கின்றன.

இங்கு, ரேடியோ வானவியல் துறையில், வான அறிவியலின் மேலும் இரண்டு மறைமுக விளைவுகளைக் கூறுவது பொருத்தமாகத் தோன்றுகின்றது. முதலாவதாக, வான அறிவியலின் விரைவான வளர்ச்சி, ரேடியோ வானவியலின் அநேகப் பிரிவுகளுக்குப் பெருந் துணையாக இருந்தது. ராக்கெட்டுகள் வானவெளியில் அதிக தூரம் செல்லச் செல்ல ரேடியோ வானவியலின் பிரிவுகள் ராக்கெட் ரேடியோ வானவியலோடு பொருந்துகின்றன. ஏற்கெனவே சந்தி ரனில் உள்ள புழுதிகளைப் பரிசோதனை செய்ய ராக்கெட்டுகளை எவ்வாறு உபயோகப்படுத்தவேண்டும் என்ற திட்டங்கள் வகுக்கப் பட்டு கடந்த சில ஆண்டுகளாக இத் திட்டங்கள் பூர்த்தி செய்யப்பட்டு வருகின்றன. ரேடியோ ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் தான் சந்திரனில் புழுதிகள் நிறைந்துள்ளன என்று கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. எதிர்காலத்தில் ராக்கெட்டுகளைச் சூரிய வளி மண்ட லத்தில் வெகுதூரம் வரை துணிச்சலாகச் செலுத்தித் திறன்மிக்க ரேடியோ வெடிப்புகள் ஏற்படும் பகுதிகளை ஆராயவும் முடியலாம். இரண்டாவது, அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் செய்யப்பட்ட வெகு விரிவான வானாராய்ச்சிகள் ரேடியோ வானியலின் வளர்ச்சியை ஓரளவு பாதித்தன. அத்துடன் தெரியியலோடு தொடர்பு கொண்ட மற்ற பிரிவுகளுக்கும் இதேநிலை ஏற்பட்டது. வானாராய்ச்சியின் பயனுக அறிவியல் துறையில் மனித உதவிக்கும், நிதி உதவிக்கும் பற்றுக்குறை ஏற்பட்டது. பல்கலைக் கழகங்களில் செலவிட்ட தொகைகளில் பெரும்பான்மைப் பகுதி வானாராய்ச்சிகளுக்குச் செல வழிக்கப்பட்டன.

முதல் துணைக் கோள் செலுத்துவதற்கு முன்பு இருந்த ரேடியோத் தொலை நோக்கிகள் ரேடியோ சைகைகளை வானா ராய்ச்சிக் கருவிகளுக்கு மிகத் திறமையுடன் அனுப்பி, பின் அவைகளை ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடிய நிலையில் இருந்தன. பத்து

ஆண்டுகளுக்கு முன்பே, இத்தகைய கருவிகளில் மிகவும் திறமை வாய்ந்தது ஜோட்ரல் பாங்கில் உள்ள 250 அடி தொலை நோக்கியாகும். இத்தொலை நோக்கி அமெரிக்கா அனுப்பிய "வான் துருவும் கருவி பையோனியர் V" (Pioneer V)-க்கு ரேடியோச் சைகைகளை அனுப்பி, பின் அதிலிருந்து திரும்பும் சைகைகளை ஏற்றது. பையோனியர் V, 1960-ம் ஆண்டு மார்ச்சு மாதத்தில் செலுத்தப்பட்டது. இது மணிக்கு 70,000 மைல்கள் வேகத்தில் சென்று சூரியனைச் சுற்றியுள்ள ஒரு சுற்றுப் பாதைக்குள் நுழைந்தது. அது ஒரு திறன் வாய்ந்த ஏற்பியையும் கொண்டு சென்றது. ஒவ்வொரு நாளும் ரேடியோ சைகைகள் அனுப்பப்பட்டு, அவைகள் அங்கு பெருக்கப்பட்டு (amplified) அங்குள்ள பரப்பியை (transmitter) முடுக்கி விடுவதற்குப் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவ்வாறு வேலை செய்ய முடுக்கப்பட்ட பரப்பி கோளியல் வான வெளி (inter planetary space) யின் காந்தப் புல வலிமையைப் பற்றியும், விரைவாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் அயனிகளின் எண்ணிக்கையையும் அவைகளின் வேகத்தைப் பற்றிய செய்திகளையும் பூமிக்கு அனுப்பியது. அத்துடன் காஸ்மிக் கதிர்களைப் பற்றிய செய்திகளையும் அப்பரப்பி பூமிக்கு அனுப்பியது 22·5 மில்லியன் மைல்கள் தூரத்திலும் தொடர்பு வைக்கக்கூடிய முறையில் துருவு கருவிகள் அனுப்பப்பட்டன. ஆனல் அதில் உபயோகப்படுத்தப்பட்ட சூரிய மின்கல அடுக்குகள் (solar batteries) வேலை செய்யத் தவறியதால், இத்தொலைவில் ஆராய்ச்சி தோல்வியுற்றது. மிகவும் கனம் வாய்ந்த பாட்டரிகளையும், அதிகத் திறன் வாய்ந்த பரப்பிகளையும் கொண்டு 93 மில்லியன் மைல்கள் தொலைவு வரை (கிட்டத்தட்ட சூரியனின் தூரம்) ஆராய்ச்சிகள் நடத்த முடியும் என்று எதிர் பார்க்கப்படுகிறது. ஆகவே எந்தக் கோளுடனும் மிக சுலபமாகத்தொடர்பு கொள்ள முடியும். எனினும் நமக்கு மிக அருகில் உள்ள விண் மீனேடு தொடர்பு கொள்வது அடுத்த பிரச்சினையாகும். இந்த விண் மீனேடு தொடர்பு கொள்ள வேண்டுமென்ருல், 22·5 மில்லியன் கி.மீ. தூரத்தில் தொடர்பு கொள்ள எவ்வளவு திறன் வேண்டுமோ அதைப்போல கிட்டத்தட்ட 10,00,000 மில்லியன் மடங்கு திறன் வாய்ந்த பரப்பிகள் தேவை.

துணைக் கோள்கள் மூலமாக ரேடியோ செலுத்துகை (Radio transmission) செய்வது அநேக நன்மைகளைக் கொடுக்கின்றது. இவற்றுள் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது உலக முழுவதும் செய்தித் தொடர்பு கொள்வதாகும். இது தற்போது அயனி மண்டலத் (ionosphere) தின் எதிரொளிப்புத் தன்மையைப் பொறுத்துள்ளது. அத்துடன் ரேடியோ அலைகள் அயனி மண்டலத்தில் எதிரொளிப்பது அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்தும்,

அயனி மண்டலத்தின் நிலையைப் பொறுத்தும் இருக்கின்றது. கடந்த பத்து ஆண்டுகளில் செலுத்தப்பட்ட இருவகை பரப்பும் துணைக்கோள்களின் (communication satellite) மூலம் புரட்சிகரமான வெற்றியடைந்திருப்பது நாம் கண்கூடாகப் பார்த்த தொன்றாகும்.

இவற்றுள் மிக எளிமையானது 'செயலற்ற எதிரொளித் (passive reflector) துணைக்கோளா'கும். இதில் பரப்பியோ அல்லது ஏற்பி (Receiver) யோ கிடையாது. ஆனால் இது 100 அடிக்கும் அதிகமான விட்டத்தையுடைய மிகப் பெரிய எதிரொளிக்கும் மேற்பரப்பைக் கொண்டது. இம் மேற்பரப்பு, பூமியின் ஓர் இடத்திலிருந்து வரும் சைகைகளை நேரடியாக எதிரொளிக்கச் செய்து மறு இடத்திற்குத் திருப்பி அனுப்புகின்றது. இம் முறைக்கு அதிகத் திறன் வாய்ந்த பரப்பிகள் தேவைப்படுகின்றன. அத்துடன் இதைப் பூமி முழுவதும் செயல்படுத்தக் கணிசமான எண்ணிக்கையுடைய துணைக்கோள்கள் தேவைப்படுகின்றன.

ஒப்பிக்கும் துணைக் கோள்களும் (repeater satellite) உலக முழுவதும் ரேடியோ முறையில் தொடர்பு கொள்ளப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இவைகள் மிகப் பெரியவைகளாக இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. ஆனால் இத் துணைக் கோளுடன் ஓர் ஏற்கும் ஏரியலும், ஓர் ஏற்பியும், பரப்பியும இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இவைகள் சைகைகளை அஞ்சல் முறையில் (relay system) நமக்கு அனுப்புகின்றன. 22,300 மைல்கள் உயரத்தில் பூமியைச் சுற்றிச் சம தூர இடைவெளிகளில் மூன்று ஒப்பிக்கும் துணைக் கோள்களை வைத்தால் இவைகள் மூலம் உலக முழுவதும் தொடர்பு கொள்ளலாம். இந்த உயரத்தில் அவைகள் பூமியைச் சுற்றி வட்டப் பாதையில் 24 மணி நேரத்திற்கு ஒரு முறை சுற்றிவர வேண்டும். இக் கோள்கள் பூமத்திய ரேகை செல்லும் தளத்தில் இருந்தால், ஒவ்வொன்றும் பூமியின் குறிப்பிட்ட இடத்திற்கு மேல் நிலையாக இருக்கும். இதனால் பூமியில் ஒரு நிலையான இடத்தில், துணைக் கோள்களை நோக்கி ஏரியல்களைச் சுலபமாக அமைக்கலாம்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Radar Studies from the moon
— *By Yaplee B. S. etal.*

2. Radio Astronomy — *By Pi.*

3. Radio exploration of the planetary system
— *By Alex G. Smith and Thomas D. Carr.*

# 9. நமது விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகள்

## (Radio Waves from our own Galaxy)

நாம் வானத்தை நோக்கும் பொழுது ஒரு பகுதி விண்மீன்கள் நிறைந்து ஒளி மயமாகக் காணப்படுகிறது. இதற்குப் பால் வழி (Milky way) என்பது பெயர். விண்மீன்கள் நிறைந்திருப்பதே அந்தப் பகுதி ஒளி மிகுந்து காணப்படுவதற்குரிய காரணமாகும். இந்தப் பால் வழியில் நமது விண்மீன் கூட்டங்கள் அமைந்துள்ளன. எல்லையற்ற வான வெளியில் ஏராளமான விண்மீன்களுக்கு இடையில் நமது விண்மீன் கூட்டம் அமைந்துள்ளது. அது சுருள் வில் (spiral) வடிவமானது. அதன் விட்டம் மிக மிகப் பெரியது. எனவே அதை நாம் பொதுவாக உபயோகப்படுத்துகிற மைல்கள் போன்ற அலகுகளால் குறிப்பிட முடியாது அதை ஒளியாண்டு (light year) என்ற அலகினுல் குறிப்பிட வேண்டும். ஒரு நொடிக்கு 1,86,000 மைல்கள் வீதம் ஒளி, ஓர் ஆண்டில் செல்லும் தூரமே ஒளியாண்டு என்பது நாம் அறிந்ததாகும். நமது விண்மீன் கூட்டம் சில நூறு ஆயிரம் ஒளியாண்டுகளைக் குறுக்களவாக உடையது என்பதும், சூரியன், மற்ற கோள்கள் ஆகியவை இந்த அமைப்பின் மையத்திலிருந்து 25,000 ஒளியாண்டுகள் தூரத்தில் உள்ளன என்றும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே நமது விண்மீன் கூட்டத்தை நாம் கண்ணுறும் பொழுது, அதை 25,000 ஆண்டுகளுக்கு முன்பு அது எப்படி இருந்ததோ அந்த நிலையில் தான் காண்கிறோம். இந்த விண்மீன் கூட்டத்தின் மையத்தில் அதன் தடிமன் 600 ஒளியாண்டுகளாகும்.

ஜான்ஸ்கி (Jansky) என்ற விஞ்ஞானி பால் வழியிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளை முதல் முதலாகக் கண்டுபிடித்த பொழுது. அவை நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் மையத்திலிருந்து வருகின்றன என்று கருதினர். அவருடைய கருத்தைப் பலர்

ஒப்புக் கொள்ளவில்லை; ஏனெனில், ஒளியியல் வானியல் வல்லுனர்கள் ரேடியோ அலைகளை, அக் காலத்தில் நன்கு அறியப்பட்டிருந்த வான வெளிக் கோட்பாடுகளினுல் விளக்க முடியாது என்று நிரூபித்து விட்டனர்.

தம்முடைய கருவியைக் கொண்டு ஜான்ஸ்கியினுல் சூரியனிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளை உணர முடியவில்லை. எனவே, பால் வழியில் சாதாரண ஒளி, வெப்பம் ஆகியவற்றைவிட அதிக அளவு ஒளி, வெப்பம் ஆகியவை அடங்கிய வேறு விதமான ரேடியோ அலைகளை வெளியிடக் கூடிய ரேடியோ மூலங்கள் (radio sources) இருக்க வேண்டும் என்று அவர் முடிவு செய்தார். இந்த ரேடியோ அலைகளைக் கொண்டு சோதனைகள் நடத்திய பொழுது ஏற்பட்ட இரைச்சல் (noise), ஒரு மின் தடை, சூடடைந்த பொழுது அதில் மூலக் கூறுகள் வெப்பக் கிளர்ச்சி (thermal agitation) அடைந்து ஏற்படுத்துகின்ற இரைச்சலை ஒத்திருந்தது. எனவே விண்மீன்களிலும், பால் வழியில் நிறைந்துள்ள பொருள்களிலும் உள்ள மின்னூட்டப்பட்ட துகள்கள், கிளர்ச்சியடையும் பொழுது, இதே மாதிரியான இரைச்சலை உண்டாக்க வேண்டும் என்ற கருத்தை அவர் தெரிவித்தார். இந்த முறையில் சுமார் 15,000° K வெப்பநிலை ஏற்படக் கூடும். ஆதலால் ஜான்ஸ்கியின் கருத்து உண்மையாக இருக்கலாம். பிற்காலத்தில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் அவருடைய கருத்துகளை நிரூபித்து விட்டன.

1944-ல் ரெபர் (Reber) வானத்தின் ஒரு ரேடியோ படத்தைத் தயாரித்து முடித்தார். பால் வழியின் திசையில் மிக அதிகமான விண்மீன் கூட்டங்கள் இருப்பதை அவரும் உணர்த்தினூர். இதிலிருந்து விண்மீன் கூட்டங்களின் இரைச்சல்களுக்கிடையே குறிப்பிட்ட ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்கின்ற மூலங்களைக் கண்டு பிடிப்பதற்கான வழிகள் ஆராயப்பட்டன. ஹே (Hey), பார்சான்ஸ் (Parsons), ஃபிலிப்ஸ் (Phillips) முதலியோர் 64 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்ணில் வானத்தை ஆராய்ந்தனர். விண்மீன் கூட்டத்தின் மையக் கோட்டின் வழியே ரேடியோக் கதிர்வீசல் உச்ச நிலையில் இருப்பதைக் காண்பித்தனர். ஆனூல் ஹே, அவருடைய கூட்டாளிகள் ஆகியோர் கண்ட முடிவுகள் ரெபரின் முடிவிலிருந்தும் மாறுபட்டு இருந்தன. ஏனெனில் அவர்களின் முடிவுகள் விண்மீன் கூட்டங்களில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகள் திடீர் திடீர் என்று ஒழுங்கற்ற முறையில் மாறுவதைக் காண்பித்தன. எனவே, பொதுவான சுற்றுப்புற இரைச்சலிலிருந்து இவை முற்றிலும் மாறுபட்டவை என்று ஹே மிகவும் சரியாக அனுமானித்தார். சிட்னியில் (Sydney) பால்ட்டன் (Bolton), ஸ்டேன்லி (Stanley) ஆகிய இரண்டு

விஞ்ஞானிகள் இக் கருத்தை நிரூபித்தனர். சுற்றுப்புற இரைச்சல் களிலிருந்து குறிப்பிட்ட ரேடியோ அலைகளை வீசுகின்ற ரேடியோ மூலங்கள் இருக்க வேண்டும் என்று அவர்கள் முடிவு செய்தனர்.

நூற்றுக் கணக்கான இத்தகைய மூலங்கள் பிற்காலத்தில் அறியப்பட்டன. அவற்றுள் வெகு சிலவே ஒளியியல் கருவிகளைக் கொண்டு அடையாளம் கண்டு கொள்ளப்பட்டன. இத்தகைய மூலங்களின் பருமன்கள் விண் மீன்களின் பருமன்களை விடப் பல மடங்கு இருந்தன. வாயு முகில்கள் (gas clouds) பல ஒளி யாண்டுகள் தூரத்தை விட்டமாகக் கொண்டிருந்தன.

ரேடியோ வானத்தின் பொலிவைப் படமாக எழுதும் பொழுது ரேடியோ வானியல் வல்லுநர்களுக்கு இரண்டு இடையூறுகள் ஏற்பட்டன. மிக அதிகமான உணர்வு நுட்பத்தையும் நல்ல பிரி திறனையும் உடைய சிறந்த திசை விளைவைப் பெற்றுள்ள ஏரியல் அணியை அமைப்பது கடினமாக இருந்தது. மேலும் ரேடியோ வானத்தின் பொலிவு 300 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-க்குச் சமமான அலை நீளத்திலேயே காண முடிந்தது. ஆனால் நமக்குச் சுமார் 30 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-க்குச் சமமான குறைந்த அதிர்வெண்களி லேயே படங்கள் தேவைப்பட்டன. இதுவே உண்மையான இடையூறு ஆகும். ஏனெனில் 300 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-ல் அப்பொழுது இருந்த மிகப்பெரிய தொலை நோக்கியான 250 அடி தொலை நோக்கியே 1° கதிர் அகலத்தைத்தான் தர முடிந்தது. சிறிய ஏரியல் அணிகளைப் பயன்படுத்தும் பொழுது இன்னும் விரி வான கதிர்களைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால் அவற்றின் முந்தைய விளக்கங்களைத் தர முடியவில்லை. இத்துறையில் மில்ஸ் கிராஸ் (Mills Cross) தொலை நோக்கி கணிசமான அளவு வெற்றியைத் தந்தது. கேம்ப்பிரிட்ஜில் பேராசிரியர் ரைல் (Ryle) என்பவர் நுண் துளைத் தொகுப்பு (aperture synthesis) என்ற முறையைப் பயன் படுத்தி மிகச் சிறிய ரேடியோ மூலங்களையும் கண்டறிந்தார்.

மேலே கூறப்பட்ட இரு கருவிகளைப் பயன்படுத்திச் சுற்றுப்புறக் கதிர் வீசல் நமது விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து வருகிறது என்று தெளிவாக வறையறுக்கப்பட்டது. விண் மீன்களின் படத்தின் மையத்தில் பால் வழி மிகத் தெளிவாகத் தெரிகின்றது. இக் கூட்டத்தின் மையக் கோட்டிலிருந்து விலகிச் செல்லச் செல்ல பொலிவும் குறைகிறது. இருந்த போதிலும், இம் மையக் கோட் டிற்குச் செங்குத்தான திசையில் பொலிவு அவ்வளவு அதிகமாக இல்லை. ஒரே அளவு பொலிவையுடைய விண் மீன்களைச் சேர்க் கின்ற உருவகைக் கோடுகள் (contour lines), சுற்றுப்புறக் கதிர்

வீசலின் அமைப்பு, விண் மீன் கூட்டத்தின் மையக்கோட்டிற்கு இணையாக இருப்பதைக் காட்டுகின்றன. எனவே சுற்றுப்புறக் கதிர் வீசல் விண்மீன் கூட்டத்தின் அமைப்போடு தொடர்புடையதாக இருக்க வேண்டும்.

நமது விண்மீன் கூட்டம் ஒரு கதிர் வீச்சுக் கோளமாக இருப்பதைப்போல் தோன்றுகிறது. பெருமளவுக் கதிர்வீசல் இக் கூட்டத்தின் மையத்திலிருந்தும். சிறுமளவுக் கதிர் வீசல் இதற்கு எதிர்த் திசையிலும் வருவதைப்போல் தோன்றுகிறது. இந்த ரேடியோ அலைகள் மிக அதிக ஆற்றல் உடைய எலக்ட்ரான் களிலிருந்து வரவேண்டும். இப்படி அலைகள் உற்பத்தியாகி வருகின்ற நிகழ்ச்சிக்குச் சிங்ரோட்ரான் கதிர் வீசல் (synchrotron radiation) என்பது பெயர். இதை ஸ்விஞ்சர் (Schwinger) என்ற விஞ்ஞானி முதன்முதலில் விளக்கினார். ஸ்விஞ்சர் என்ற விஞ்ஞானி ஒரு வானியல் நிபுணர் அல்லர். அவர் ரேடியோ அலைகளைப் பற்றியும் கவலைப்படவில்லை. முடுக்கு எந்திரங்களில் (accelerating machines) எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல்களைப் பற்றி அவர் ஆராய்ந்து கொண்டிருந்தார். இந்த எந்திரங்களில் அணுவின் உட்கருத் துகள்களும் (nuclear particles) மிக அதிக ஆற்றலுக்கு எடுத்துச் செல்லப்பட்டு ஆராயப்பட்டன. சிங்ரோட்ரான் என்பது எலக்ட்ரான்களை வட்டப் பாதைகளில் மிகவும் ஆற்றல் மிக்க காந்தப் புலங்களைக் கொண்டு சுழற்றுகின்ற ஒரு கருவியாகும். அதிக ஆற்றல்களில் எலக்ட்ரான்கள் ஒரு நீல நிற ஒளியை வெளிவிடுகின்றன. இதற்குச் சிங்ரோட்ரான் கதிர் வீசல் என்பது பெயர். ஆற்றல் வாய்ந்த காந்தப் புலத்தில் எலக்ட்ரான்களை முடுக்கும்பொழுது இத்தகைய கதிர் வீசல் நிகழ்வது இயற்கையே என்று ஸ்விஞ்சர் நிருபித்தார்.

இந்தக் கதிர் வீசலை ஆராய்ந்தபொழுது, எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலைப் பொறுத்தும், எலக்ட்ரான்களின் திசையை மாற்றுகின்ற காந்தப் புலத்தின் செறிவைப் பொறுத்தும், கதிர் வீசலின் தன்மை மாறுவது அறியப்பட்டது. வானவெளியில், காந்தப் புலத்தின் செறிவு குறைவாகவும். எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றுக்கொன்று அதிகத் தொலைவிலும், இருந்த போதிலும் அவைகள் உள்ள பரப்பு மிகமிக அதிகமாக இருப்பதால் எலக்ட்ரான்களின் அளவு எண்ணிறந்தன. எனவே, மிக அதிக ஆற்றலை உடைய இந்த எலக்ட்ரான்களே ரேடியோக் கதிர் வீசலுக்கு மூலங்களாக அமைகின்றன.

நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் பல்வேறு ரேடியோ மூலங்கள் அடையாளம் கண்டு கொள்ளப்பட்டன. அவைகளுள் சில மீப்

பெரு ஒளிர் மீன் (Super nova) வெடித்தபொழுது எஞ்சிய பகுதிகளாகும். இதில் கிராப் நெபுலா (Crab nebula) என்பது மிக அதிகப் பொலிவையுடைய ரேடியோ மூலமாகும். இவ்விண்மீன் சீன நாட்டு வானியல் நிபுணர்களால் 1504-லேயே காணப்பட்டது. இது தொடக்கத்தில் கண்ணிற்குப் புலனுகாமல் இருந்தது. அது திடீரென வெடித்து வெள்ளியின் (Venus) பொலிவை அடைந்தபொழுது இதைப்பற்றி வானியல் நிபுணர்கள் ஆராய ஆரம்பித்தனர். மீண்டும் இது பொலிவு குறைந்து கண்ணிற்குப் புலனுகாமல் போய்விட்டது. அதிலிருந்து இந்தப் பெரிய வாயுக்கோளம் விரிவடைந்து வான் வெளியில் ஒரு விநாடிக்கு 700 மைல் வேகத்தில் விரிந்து கொண்டே செல்கிறது, இப்பொழுது அது 10 ஒளியாண்டுகளுக்கும் அதிகமான விட்டத்தைப் பெற்றிருக்கும். அதாவது அதன் ஒரு விளிம்பு பூமியைத் தொட்டுக் கொண்டிருந்தால், மற்ருெரு விளிம்பு ஓரியன் (Orion) விண்மீன் கூட்டத்திற்குக் கீழேயுள்ள சிரியஸ் (Sirius) என்ற ஒளி பொருந்திய விண்மீனைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்.

இந்த விண்மீன் 19-ம் நூற்ருண்டில் மீண்டும் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இந்த விண்மீனின் மையம் மிகவும் ஒளி பொருந்தியதாக உள்ளது. ரேடியோ அலைகள் மூலம் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து இதன் நிறமாலை மற்ற மூலங்களின் நிறமாலைகளிலிருந்து மாறுபட்டு இருப்பது தெரியவந்தது. இதிலிருந்து பூமியை வந்து அடைகின்ற ஆற்றலின் அளவு எல்லா அதிர்வெண்களிலும் ஒரே அளவுடையதாக உள்ளது. இதனுல் இது ஒரு கரும் பொருளைப்போல் கதிர் வீசலை வெளிவிடுவதாகத் தொடக்கத்தில் நினைத்தனர். இந்தக் கதிர் வீசலுக்குக் காரணம் அயனியாக்கப்பட்ட வாயுக்கள் என்று கருதினர். சூரியனிலிருந்து கிடைக்கின்ற ஒளி, வெப்பம் ஆகியவையும், மின்சாரத்திலிருந்து கிடைக்கின்ற வெப்பமும் இம்முறையை ஒத்துள்ளன. இருந்த போதிலும் கரும் பொருள் கோட்பாட்டால் (black body theory) விளக்குவதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றலைக் கொடுப்பதற்கு வேண்டிய நிறையை இந்த நெபுலா பெற்றிருக்கவில்லை என்று உணர்ந்தனர்.

ஷ்லோவ்ஸ்கி (Shklovsky) என்ற ரஷ்யா நாட்டு வானியல் தெரியியல் (Astro physics) விஞ்ஞானி, ரேடியோக் கதிர் வீசல், ஒளிக் கதிர் வீசல் ஆகிய இரண்டுமே சிங்ரோட்ரான் விளைவுகளால் ஏற்படுபவை என்று கருதினுர். சிங்ரோட்ரான் கதிர் வீசலை அடையாளம் கண்டுகொள்ள முடியும்; ஏனெனில் அது தளவிளைவிற்குட்பட்டது. டிராம்ப்பு ரோவ்ஸ்கி (Drombrousky) என்பவர் கிரிமியா (Crimea) என்ற இடத்தில் உள்ள ஆய்வுக் கூடத்தில் ஒரு

சோதனையைச் செய்து கதிர் வீசல் தள விளைவைப் பெற்றது என்று நிரூபித்தார். எனவே ரேடியோ மூலங்களில் சிங்ரோட்ரான் வகையைச் சேர்ந்த கதிர்வீசல் ஆற்றலை உற்பத்தி செய்வதற்குரிய ஒரு முறை என்பது உறுதிப்படுத்தப்பட்டது.

ஊர்ட் (Oort), வால்ரேவன் (Walraven) என்ற விஞ்ஞானிகள் லெய்டன் (Leiden) பல்கலைக்கழகத்தில் கிராப் நெபுலா (Crab nabula) வைக் கொண்டு புதிய ஒளியியல் சோதனைகளைச் செய்தனர். கிராப் நெபுலாவின் மையத்தைச் சூழ்ந்துள்ள பகுதிகளுடன் காந்தப் புலம் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டுள்ளது. பாலோமரில் பேடு (Baade) என்ற விஞ்ஞானி இதை நிரூபித்தார். இந்த அமைப்பு ஒரு காந்தக் கட்டையின் மேல் ஓர் அட்டையை நிறுத்தி அதன்மேல் சிறிய இரும்புத் துகள்களை ஒரே சீராகத் தூவினால், அவ்விரும்புத் துகள்கள் அடையும் நிலையை ஒத்திருக்கும். இந்த விண்மீனின் மையத்திலிருந்து ஒளிக் குற்றலைகள் (ripples of light) கிளம்பி வெளிப்புறமாக ஒளியின் திசைவேகத்தில் பத்தில் ஒரு பங்கு திசை வேகத்துடன் செல்வது காணப்பட்டது.

அடுத்தபடியாக நெபுலாவிலிருந்து தளவிளைவுற்ற ரேடியோக் கதிர் வீசலைக் காண்பதற்கு ரேடியோ வானியல் நிபுணர்கள் முயன்றனர். ஜோட்ரல் பாங்கிலும் (Jodrell Bank), லெய்டனிலும் இந்த ஆராய்ச்சிகள் நடத்தப்பட்டன. தள விளவு ஒரு சில விழுக்காடுகளுக்கும் குறைவாகவே இருந்தது. மேலும் இது ஒளியியல் விழுக்காட்டிற்கும் குறைவாக இருந்தது. ரேடியோ மூலம் ஒளி நெபுலாவைப்போல் (optical nebula) இரு மடங்கு பெரியதாகையாலும், ரேடியோ அலைகள் பெரும்பாலும் புறப்பகுதிகளிலிருந்தே வருவதாலும், இந்த முடிவுகள் நியாயமானவையே. மேலும் தளவிளைவு ஃபாரடே (Faraday) சுழற்சியினால் பாதிக்கப்படுகிறது என்பதையும் கவனிக்க வேண்டும். பிற்காலத்தில் உயர் அதிர்வு எண்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் மூலம் மேலே கண்ட முடிவுகள் உறுதிப்படுத்தப்பட்டன. உயர் அதிர்வெண்களில் ஃபாரடே விளைவு மிக மிகக் குறைவு என்பதும், இந்த அதிர்வெண்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் ரேடியோக் கதிர் வீசல் தளவிளவு பெற்றுள்ளவை என்பதை நிரூபித்தன என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கவை. நெபுலா கண்டுபிடிக்கப்பட்டு, 900 ஆண்டுகளில் நமது சூரியன் எவ்வளவு ஆற்றலை வெளிப்படுத்தி இருக்குமோ அதைப்போல ஆயிரக்கணக்கான மடங்கு ஆற்றல் காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்குத் தேவைப்படுகிறது. இவ்வளவு அதிகமான ஆற்றல் கதிர் இயக்கச் சிதைவின் (radio action decay) மூலமே கிடைக்க முடியும்.

நெபுலாவிலிருந்து வருகின்ற ஒளி, ரேடியோ ஆகியவற்றின் அலைகளை ஆராய்ந்ததில் வேறொரு சுவாரசியமான முடிவு தெரிந்தது. அதாவது காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்களிலிருந்து வெளிவருகின்ற ஒளிக் கதிர் வீசல் அவைகளின் பெரும் பகுதி ஆற்றலை ஏறக்குறைய 300 ஆண்டுகளுக்குள்ளேயே இழந்திருக்க வேண்டும். நெபுலா 900 ஆண்டுகளாக இருப்பதாலும் அது வெளிவிடுகின்ற ஒளியினால் நாம் அதைக் காண்பதாலும் அதில் புதிய காஸ்மிக் கதிர்கள் எந்நேரமும் உற்பத்தி செய்யப்பட்டுக் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்பது உறுதியாகிறது. காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவித்த அதே ஆற்றலே இந்த மற்ற விளைவுகளுக்கும் காரணமாக அமையலாம்.

மின்னொளி வெடிப்புகளில் மீதியான பகுதிகளிலிருந்து வேறு இரு மூலகங்களும் அறியப்பட்டுள்ளன. ஒன்று: 1572-ல் அறியப் பட்ட டைகோ பிரே விண்மீன்; மற்றது 1604-ல் கெப்லரால் அறியப்பட்ட நோவா. இவை கிராப் (நண்டு) நெபுலாக்களைவிடப் பொலிவு குறைந்தவை.

மிகப் பெரிய வட்டமான வாயு முகில்களிலிருந்து பல்வேறு ரேடியோ மூலங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. இம்மூலங்களிலிருந்து வாயுக்கள் விரைவாக விரிவடைவதாக அறியப்பட்டது. சைஜ்னஸ் (Cygnes) வளைய நெபுலா (loop nebula) இந்த வகையைச் சார்ந்தது. இதற்குத் திரை நெபுலா ( veil nebula ) என்ற பெயருண்டு. இதில் மூன்று டிகிரி குறுக்களவில் வட்டமான வாயு ஓட்டப் பகுதியுள்ளது, இதிலிருந்து 1200 மெகா சுற்றுகளிலிருந்து 100 மெகா சுற்றுகள் வரை கதிர் வீசப்படுகிறது. இக்கதிர் வீசல் அடர் குறைந்ததும், அயனியாக்கப்பட்டுள்ளதுமான வாயுக்கள் சூடாக்கப்படுவதிலிருந்து வருவனவாகும். லாகூன் நெபுலா (Lagoon nabula) இதே வகையைச் சேர்ந்த வேறொரு ரேடியோ மூலமாகும். இது 50 ஒளியாண்டுகள் குறுக்களவில் நம் பூமியிலிருந்து 3600 ஒளியாண்டுகள் தொலைவில் உள்ளது.

காஸியோப்பியா-A (cassiopeia-A) என்பது வேறொரு சிறந்த ரேடியோ மூலமாகும். இங்கிலாந்து நாட்டில் ஹே என்பவரும், ஆஸ்திரேலியாவில் பால்டன் என்பவரும் கூறிய சைஜ்னஸ்-A என்ற ரேடியோ மூலத்தை ஆராய்வதற்காக 1948-ல் கேம்பிரிட்ஜில் ஒரு புதிய ரேடியோத் தொலை நோக்கி செய்யப்பட்டது. இவற்றை ஆராய்ந்ததில் தொடக்கத்தில் சைஜ்னஸ்-A -க்கு அருகில் அதைவிட ஒளி பொருந்திய வேறொரு ரேடியோ மூலம் இருப்பது அறியப்பட்டது. இதைப் பால்டான் அறியவில்லை;

ஏனெனில் இது ஆஸ்திரேலியாவில் தெரியவில்லை. இது வட பகுதியில் வெகு தொலைவில் இருந்தது. ஹேயின் ஏரியல் அணியும் இதை அறிய முடியவில்லை; ஏனெனில் அந்த ஏரியல் அணி அடிவானத்தை நோக்கியிருந்தது.

இந்த இரண்டாவது மூலத்தைப் பற்றி அப்பொழுது சரியாக அறிய முடியவில்லை. கேம்பிரிட்ஜில் இருந்து I. F. கிரகாம்ஸ் ஸ்மித் என்ற விஞ்ஞானி இந்த ரேடியோ மூலத்தின் உண்மையான இருப்பிடத்தையும், அதற்கருகிலுள்ள வேறொரு விண்மீனின் தூரத்தையும் கணக்கிடும்படி கேட்டுக்கொள்ளப்பட்டார். இதற்காக, புதிய ஒரு சிறப்பு வாய்ந்த தொலை நோக்கி உருவாக்கப்பட்டது. இது 214 மெகா சுற்றுகளில் வேலை செய்தது. அந்த மூலத்தின் இருப்பிடம் சரியாக நிர்ணயிக்கப்பட்டு அதற்குக் காஸியோப்பியா-A என்ற பெயரும் கொடுக்கப்பட்டது. இதைப் பற்றி ஒளியியல் வானியல் நிபுணர்களுக்குச் செய்திகள் கொடுக்கப்பட்டன. கேம்பிரிட்ஜில் இருந்த டியூகர்ஸ்ட் (Dewhirst) என்பவர் காஸியோப்பியா-A-க்கு அருகில் வேறொரு பொலிவு குறைந்த நெபுலா இருப்பதாகக் கூறினர். பாலோமரில், பேடு, மின் கௌஸ்கி ஆகியோர் 200 அங்குல தொலை நோக்கியைக் கொண்டு காஸியோப்பியா-A-ன் இருப்பிடத்தை மீண்டும் ஆராயும்படி கேட்டுக்கொள்ளப்பட்டனர். இவ்வளவு ஆற்றல் வாய்ந்த தொலை நோக்கியினுல் இந்த ரேடியோ மூலத்தை நிச்சயமாகக் காண முடியும் என்று எதிர் பார்த்தபொழுது அவர்களால் அதைக் காண முடியவில்லை. டியூகர்ஸ்ட் என்பவர் அடையாளங் கண்டது ஒரு சிறிய நெபுலியர் வாயுப் பகுதியாகும். உண்மையான ரேடியோ மூலம் ஐந்து நிமிட (5') வில்லின் விட்டத்தில் மிக அதிகமான பரப்பில் இது இருந்தது. இந்தப் பரப்பில் வாயுக்களின் மேகங்கள் பரவலாக இருந்தன. இவை ஆதியிலிருந்த மீப்பெரு ஒளிர் மீன் வெடித்ததால் ஏற்பட்டவையாகும்.

காஸியோப்பியா-A ஐ ஆராய்ந்ததில் சுவாரசியமான செய்திகள் கிடைத்தன. அதனுடைய சில பகுதிகள் நிலையாகவும், எஞ்சியவை ஒரு விஞடிக்கு 3000 மைல் வேகத்தில் சுழன்று கொண்டிருப்பதும் தெரிய வந்தது. இவ்வளவு அதிகமான வேகத்தில் சுழலும்பொழுது அதனுடை சில பகுதிகளில் குறிப்பிடத்தக்க மாறுதல்கள் ஏற்பட்டன. சுமார் ஓர் ஆண்டு இடைவெளியில் அப்பகுதிகளை மீண்டும் படமாகப் பிடித்த பொழுது, பகுதிகளில் மாற்றங்கள் அதிகமாக ஏற்பட்ட காரணத்தால் பகுதிகளை அடையாளங் கண்டு கொள்வதே கடினமாக இருந்தது. அணுக்களிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் வெப்பக் கிளர்ச்சியால் நீக்கப்படுவதற்கு

இது ஓர் உதாரணமாகும். இந்த அதிக அளவு அயனியாக்கப் பட்ட ஆற்றல் நிறைந்த வாயு ரேடியோ அலைகளை உற்பத்தி செய்கிறது என்பது நாம் அறிந்த ஒன்றாகும். இது சிங்ரோட்ரான் கதிர் வீசலுக்கு ஓர் உதாரணமாகும். இந்த மேகத்தின் துகள் களின் திசை வேகங்களைக் கணக்கிட்ட பொழுது அவைகளின் மூலத்தின் வெடிப்பு 1702-ல் நிகழ்ந்திருக்க வேண்டும் என்று தெரிய வந்தது இது சுமார் 10,000 ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் இருப்பதால் இந்த வெடிப்பை நம்மால் காண முடியவில்லை; ஏனெனில் இவ்வளவு அதிகமான தூரத்தில் இருக்கும் பொழுது இதை நமது கண்ணால் காணுதல் இயலாது.

வேறு பல ரேடியோ அலை மூலங்களும் உள்ளன. ஒரு மூலம் ஆரிகா (Auriga) விண்மீன் கூட்டத்திலும், வேறு இரு ஒளி குறைந்த மூலங்கள் பப்பிஸ் (Puppis), ஜெமினி (Gemini) விண்மீன் கூட்டங்களிலும் காணப்படுகின்றன. இவைகள் உருவத்தில் மிகச் சிறியவையாகையால் இவைகளின் பருமனைக் கணக்கிடுவது கடின மாகும். இவை விரைவாக விரிவடைவதாகவும் தெரியவில்லை, அத்துடன் ரேடியோக் கதிர்கள் வெளிவிடும் முறையும் தெரிய வில்லை. மேலே கூறப்பட்ட விண்மீன்களை விட அதிக ஆண்டு களுக்கு முன் தோன்றிய விண்மீன்களின் உடைந்த பகுதிகளாக இவை இருக்கலாம். அப்படி இருந்தால் இவைகளின் விரிவடைதல் விண்மீன் இடைவெளியிலுள்ள மற்ற வாயுக்களின் விரிவடைவ தோடு மோதி அதனால் பாதிக்கப்படலாம்.

வேறொரு வகையான ரேடியோ மூலமும் அறியப்பட்டுள்ளது. இவைகளில் ரேடியோ ஆற்றல் அயனியாக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன் மேகங்களில் உண்டாக்கப்படுகிறது. இத்தகைய மேகங்கள் சில அதி வெப்ப நிலையையுடைய விண்மீன்களைச் சூழ்ந்துள்ளன. இதற்கு உதாரணமாக, ஓரியனுக்கு அருகிலும், இக்கூட்டத்தின் மையத்திலும், உள்ள வெப்பமான விண்மீன் மேகங்களற்ற இரவில், சாதாரணக் கண்ணிற்குப் புலனாவதைக் கூறலாம். ஒரு பைனா குலரைக் கொண்டோ அல்லது ஒரு சாதாரணத் தொலைநோக்கி யைக் கொண்டோ இதைக் காணும் பொழுது இது ஒரு நெபுலா என்பது தெரியவருகிறது. ஆனால் ஒரு தனித்த விண்மீனை விட ஒரு சிறிய மேகமாகத் தோன்றுகிறது. இத்தகைய மேகத்தில் இருந்துதான் புதிய விண்மீன்கள் தோன்றுவதாகக் கருதினார்கள். நெபுலாவில் அநேக இளம் விண்மீன்கள் உள்ளன. இவை அதிக வெப்ப நிலையிலும், ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த் திசைகளில் அதிகத் திசை வேகங்களிலும் சென்று கொண்டிருக்கின்றன. இவைகளின் திசை வேகம் வினாடிக்கு ஏறக்குறைய 150 மைல்களாகும்.

இத்தகைய விண்மீன்கள் இப்பகுதியில் நூற்றுக் கணக்காக உள்ளன.

ஓரியன் நெபுலாவைப் போன்ற வெப்பமான விண்மீன்களில் ஹைடிரஜன் சுமார் $10,000^\circ K$-ல் அயனியாக்கம் அடைகிறது. இதைப்போலவே குளிர்ந்த ஹைடிரஜனும் உள்ளது. விண்மீன் களின் தொலை தூரத்தில் வாயுவை அதிக வெப்பத்தில் வைக்க முடியாத நிலையில் வெப்ப மட்டம் $100^\circ K$-க்கும் கீழே இறங்குகிறது. இந்த நிலையில்தான் ஹைடிரஜன் கோடுகள் நிற மாலையில் தெரிகின்றன. இக் கோட்டின் செறிவிலிருந்து வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடலாம். நமது விண்மீன் கூட்டம் பேரண்டத்தில் உள்ள அநேக விண்மீன் கூட்டங்களைப்போல சுருள் வில் வடி வில் அமைந்து உள்ளது. என்று முன்னரே கூறினோம். 21 செ. மீ. அலை நீளத்திற்கான அதிர்வெண்ணில் இவற்றை ஆராயும் பொழுது சூரிய குடும்பத்துடன் இத்தகைய ஒரு சுருள்வில் இருப்பதை நாம் அறிகிறோம். உண்மையாகவே நாம் ஓரியனின் புயத்தில் இருக்கிறோம். வேறொரு புயம் தனுசிலும் (Sagittarius), மற்றொன்று பர்சியஸ் (Perseus) பகுதியிலும் உள்ளன.

நமது விண்மீன் கூட்டத்திலுள்ள மூலங்களைப் பற்றிய இச்சிறு குறிப்பும், அவற்றின் அமைப்பும் வெகுவாகச் சுருக்கிக் கூறப் பட்டுள்ளன. நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் 100,000 மில்லியன் விண்மீன்கள் உள்ளன. அவைகளை ஒளியியல் நோக்கத்தில் இரு முக்கியப் பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். பெரும்பாலானவை இரண்டாம் வகை (Type-II) விண்மீன்கள் எனப்படும். இவைகள்தாம் அதிக அளவில் இருக்கின்றன. ஆனால் இக்கூட்டத்தில் சுருள் வில் வடிவ அமைப்பில் உள்ள விண்மீன்களே அதிசயிக்கத் தக்க முறையில் உள்ளன. இவை முதல் வகை (Type-I) எனப்படும்.

ரேடியோ வானியல் விண்மீன்களுக்கு இடையே உள்ள வற்றைப் பற்றியே அதிகமாகக் கூறுகிறது; விண்மீன்களைப்பற்றி அவ்வளவாகக் கூறுவதில்லை. ரேடியோக் கதிர் வீசல் 21 செ. மீட்டரில் குளிர்ந்த ஹைடிரஜனிலிருந்தும் புதிதாக ஏற்பட்ட விண்மீன்களில் சூழ்ந்துள்ள வெப்பமான வாயுக்களில் இருந்தும் வருவது தெரிகின்றது. 'இக்கதிர் வீசல்களை ஆராய்ந்த பொழுது இந்த விண்மீன் கூட்டத்தின் ஒரு பகுதி ஒரு திசையிலும் எஞ்சியது வேறு பகுதியிலும் செல்வது புலனாயிற்று. நமது விண் மீன் கூட்டத்திற்குள்ளேயே இருந்து கொண்டு அதைப்பற்றி ஒரு சரியான முடிவைப் பெறுவது ஒரு கடினமான செயலாகும். ஏனெனில் நம்மை முற்றும் சூழ்ந்துள்ள ஒரு பகுதியின் இரு பரிமாண

அமைப்பைப் (two dimensional picture) பெறுவது கடினமாகும். இருப்பினும் நமது விண்மீன் கூட்டத்தைப் பல வகையிலும் ஒத்தும், நமக்கு வெகு அருகில் உள்ளதுமான வேறொரு விண்மீன் கூட்டத்தை நமது வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் ஆராய்ந்து உள்ளனர். இதைப்பற்றி "மற்ற விண்மீன் கூட்ட நெபுலாக்கள்" (extra galactic nabulae) என்ற பகுதியில் சற்று விரிவாகக் கூறப் பட்டுள்ளது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. The Milky Way — *Bok. B. J. and Bok. P. F.*
2. Radio Astronomy — *Frank. W. Hyde.*
3. Radio Astronomy — *Neigel Calder.*

# 10. மற்ற விண்மீன் கூட்ட நெபுலாக்கள்

## (Extra - Galactic Nabulae)

முதலாவது உலக மகா யுத்தத்திற்குப் பின் பேரண்டத்தைப் பற்றிய நமது ஆராய்ச்சிகள் வெகுவாக விரிவுபடுத்தப்பட்டன. அத்துடன் நமது விண்மீன் கூட்டங்களைப் (our own galaxy) பற்றிய ஆராய்ச்சிகளும், அதற்கு அப்பால் உள்ள வெளி அண்டத்தைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளும் மிக அதிக அளவில் விரிவாக்கப்பட்டன. உலக மகா யுத்தத்தின் பொழுது. அமெரிக்காவில் உள்ள மௌண்ட் வில்சன் (Mount Wilson) என்ற இடத்தில் 100 அங்குலத் தொலை நோக்கியின் அமைப்பு வேலை பூர்த்தியாக்கப்பட்டது. இத் தொலைநோக்கி, இதற்குமுன் தோற்றுவித்த தொலைநோக்கிகளை விட இருமடங்கு அளவு ஒளியைச் சேகரிக்கும் ஆற்றல் வாய்ந்த தாக இருந்தது. இத் தொலைநோக்கி முதன்முதலாக எட்வின் ஹபுள் (Edwin Hubble) என்ற வானவியல் நிபுணரால் இயக்கி வைக்கப்பட்டு வேலை செய்ய ஆரம்பித்தது. இவர் மிகத் தொலை வில் உள்ள நெபுலாக்களைப் பற்றி ஆராய்ச்சி செய்ய முற்பட்டார். இவர் அண்மைக் காலம் வரையில் ஒரு சிறந்த வானவியல் நிபுண ராக விளங்கினுர். இவரது பேரண்டத்தைப் பற்றிய கருத்து மிகப் புரட்சிகரமாகத் தோன்றியது. இவர் விண்மீன்கள் தொகுதி யாகவும், கூட்டங்களாகவும் இருக்கின்றன என்பதைக் காட் டினுர். மேலும் நமது விண்மீன் கூட்டம், பிரபஞ்சத்தில் உள்ள பல விண்மீன் கூட்டங்களுள் ஒன்று என்பதையும் காட்டினுர். இவைகளில் பல விண்மீன் கூட்டங்கள் மிகமிகத் தொலைவில் இருப்பதால் அவைகள் சிறிய, மங்கலான மேகங்களைப்போலத் தோன்றுகின்றன.

நமக்கு இதுவரைத் தெரிந்த விண்மீன் கூட்டங்கள் சுருள் வில் வடிவ முறையில் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. இவைகளுள் மிக

அருகில் உள்ள நமது விண்மீன் கூட்டக் குடும்பத்தில் ஒன்ருக ஆன்ட்ரோமிடா நெபுலா (Andromeda nebula) விளங்குகிறது. இதைச் சாதாரணமாக, நமது கண்ணிஞலேயே பார்க்கமுடியும். பைஞகுலர் அல்லது குறைந்த பிரிதிறன் கொண்ட தொலை நோக்கியால் மிகவும் தெளிவாகப் பார்க்கமுடியும். இந்த விண்மீன் கூட்டம் நமக்கு மிக அருகில் இருந்தாலும், அது பூமியிலிருந்து இரண்டு மில்லியன் ஒளியாண்டுத் தூரத்திற்கு அப்பால் இருக்கிறது. நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் விட்டமே ஒரு லட்சம் ஒளியாண்டு தூரத்திற்குச் சமம் என்பதை நினைவு கொள்ள வேண்டும். ஆகவே ஆன்ட்ரோமிடாவின் அமைப்பு நம் விண்மீன் கூட்டத்தின் அமைப்பைப் போல் சுமார் பத்து மடங்கு பெரிதாக இருக்கின்றது. ஆனுல் வானவியல் தூரங்களைப் பொறுத்த மட்டில் இது மிகவும் பெரிய அளவு அல்ல என்றே நாம் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும். வானவியல் நிபுணர்களால், மற்ற விண்மீன் கூட்டங்களின் அமைப்புகளை, நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் அமைப்போடு ஒப்பிட்டு மற்றவைகளைப் பற்றி விரிவான ஆராய்ச்சிகள் செய்ய முடிகின்றது.

நம்மால் ஆன்ட்ரோமிடா விண்மீன் கூட்டத்தை ஒரு சிறிய கோணத் திசையில்தான் பார்க்கமுடிகிறது. இதனுல்தான் உண்மையாகவே வட்ட வடிவ அமைப்பில் இருந்தாலும், அது நமக்கு நீள் வட்ட வடிவில் காட்சி அளிக்கின்றது, இதன் அமைப்பு, சுருள் வில் அமைப்பைப் போன்றது என்பதை முன்னரே கூறிவிட்டோம். ஒரு சிறந்த தொலைநோக்கியை உபயோகித்து, சுருள் வில் புயங்களில் உள்ள ஒளிமிக்க பல விண்மீன்களைப் பார்க்க முடியும். ஓரியன் நெபுலா (Orion nebula) வைப்போல், இந்த விண்மீன்களைச் சுற்றி அயனியாக்கம் செய்யப்பட்ட வாயுக் கூடுகள் (shells) உள்ளன. நாம் இத்தகைய விண்மீன் கூட்டத்தின் மையத்தில் இருந்தால் நமது பால்வழி (Milky way) யை ஒத்த அமைப்பைப் போலவே இதிலும் பார்க்கலாம். ஒரு ரேடியோ வானவியல் நிபுணர் ஒரு சாதாரண விண்மீன் கூட்டத்தின் அமைப்பை மிக அருகில் ஆராயும் அதிருஷ்டம் உள்ளவராக இருக்கின்ருர். அன்ட்ரோமிடா நெபுலாவிலிருந்தும் ரேடியோக் கதிர் வீச்சு வெளியிடப்படுகின்றது என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆகவே நாம், நமது விண்மீன் கூட்டத்தை, அதன் உட்பாகத்தில் இருந்துகொண்டு, ஆராயும் நிலையிலும் இதையொத்த மற்ற வெளி விண்மீன் கூட்டத்தை வெளியிலிருந்து ஆராயும் நிலையிலும் இருக்கிருேம்.

ஜோட்ரல் பேங் (Jodrell Bank) கிலுள்ள ரேடியோ வானவியல் நிபுணர்கள் தாம் முதன்முதலாக ஆன்ட்ரோமிடாவிலிருந்து வரும்

ரேடியோ அலைகளைக் கண்டுபிடித்துப் பகுத்தார்கள். பிறகு 250 அடி ரேடியோ தொலைநோக்கி செயல்படத் தொடங்கியபொழுது விரிவான ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன மேலும் கேம்பிரிட்ஜ் ஜில் உள்ள நிபுணர்கள் இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளை விரிவாக நடத்தினர். இத்தகைய ஆராய்ச்சியின் பயனாக, ரேடியோ விண்மீன் கூட்டம், பார்க்கக்கூடிய விண்மீன் கூட்டத்தைவிட மிகப் பெரியது என்பது இப்பொழுது உறுதியாயிற்று. அத்துடன் அது வட்ட வடிவ அமைப்பைப் பெற்றது என்பதும் புலனாயிற்று. இவ்வுண்மைகள், நமது விண்மீன் கூட்டத்தைப் பற்றிய கருத்து களோடு ஒத்திருந்தது. மற்ற பொருள்களைப்போல ஆன்ட்ரோ மிடா அமைப்பு முறை வலிமை வாய்ந்த காந்தப் புலத்தைக் கொண்டிருந்தது. நாம் பார்க்கக்கூடிய அமைப்பின் பரப்பு சுமார் 100,000 ஒளியாண்டுகள் இருக்கின்றது. ஆனால் ரேடியோப் பரிவட்டம் (halo) இதைப் போல இருமடங்கு அளவு இருக்கிறது

சுருள் வில் புயங்கள், லெய்டன் பல்கலைக் கழகத்தில் (Leiden University) உள்ள ரேடியோ வானவியல் நிபுணர்களால் மேலும் விரிவாக ஆராயப்பட்டது. ஹைடிரஜன் வரி நிறமாலையைப் பயன் படுத்தி அவர்கள் அவற்றின் தோற்றத்தையும், அளவையும் கணக்கிட்டனர். அவைகளின் பெருமச் சுழற்சி வேகம் சுமார் 150 மைல்கள் / வினாடி இருக்கின்றது என்பதைக் காட்சிப் பதிவுகள் காட்டின. ஆன்ட்ரோமிடாவில் இருந்து வெளிவரும் ரேடியோ அலைகளின் அளவு, நமது விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகளின் அளவிற்குச் சமமாக இருந்தது. இதனால்தான் முதன்முதலாக, ஆன்ட்ரோமிடாவிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகளைப் பகுக்க முடியாமல் போயிற்று; ஏனெனில் இந்த ரேடியோ அலைகளும், நமது விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து வரும் ரேடியோ அலைகளும் ஒன்றை ஒன்று அழித்துகொண்டன.

பூமியின் தெற்கு அரைக் கோளப் பகுதியிலிருந்து பார்த்தால் மேலும் மற்ற இரண்டு விண்மீன் கூட்டங்களை நம்மால் பார்க்க முடியும். இவைகளும் நமக்கு அருகில் இருக்கின்றன. இவைகள் மெஜல்லானிக் மேகங்கள் (Magellanic clouds) எனப்படும். இவைகள் உருவத்தில் ஒழுங்கற்றனவாகவும், ஒன்று மற்றொன்றை விட மிகப் பெரியதாகவும் இருக்கின்றன. ஒளியியல் தொலை நோக்கியை வைத்துக்கொண்டு அவைகளின் தனித்தனி விண்மீனை மிகச் சுலபமாக பகுத்துப் பார்க்கமுடியும். அவற்றின் வானவியல் தூரங்களை அந்த மேகங்களிலிருந்து அளக்கவும் முடியும். இவ்விரு மேகங்களும் ஒரு வலிமையான வாயுப் பட்டையால் இணைக்கப் பட்டுள்ளன என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அவைகளுக்கிடையே

உள்ள ஈர்ப்பு விசை ஒன்றை ஒன்று சுழலச் செய்கிறது. ஆன்ட்ரோமிடாவோடு ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் இவ்விரு மேகங்களும் அழகற்ற விண்மீன்களால் ஆன கூட்டமாகும். இந்த ஒழுங்கற்ற விண்மீன் கூட்டங்களில் வாயுவைவிட அதிக அளவில் தூசுகள் காணப்பட்டு ஒரு புழுதி மண்டலமாகக் காட்சியளிக்கின்றன. சுருள் வில் அமைப்பை அடையாத விண்மீன் கூட்டங்களைவிட, இந்த மேகங்களில் அதிக அளவு தூசுகள் இருக்கின்றன. என்று ஆராய்ச்சிகள் மூலம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆனாலும் மிகப் பெரிய மேக விண்மீன் கூட்டத்தில் அதிக அளவு காஸ்மிக் புழுதிகளும், சிறிய மேகத்தில் மிகக் குறைந்த அளவு காஸ்மிக் புழுதியும் இருக்கின்றன.

ரேடியோ வானவியல் நிபுணர்கள் இவ்விரு மேகங்களைப்பற்றி விரிவாக ஆராய்ச்சி செய்தனர். மேகங்களில் உள்ள பல பகுதிகள் பல்வேறு சுழற்சித் திசை வேகங்களில் நகர்கின்றன. இத்திசை வேகங்களின் பெரும் அளவு 18 கிலோ மீட்டர்/வினாடி என்று அளந்துள்ளனர்; இத்திசை வேகத்தின் அளவு நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் திசை வேகத்தை விட மிகக் குறைவாகும். இதிலிருந்து இம் மேகங்களில் உள்ள ஹைடிரஜன் வாயு, நமது விண்மீன் கூட்டத்தில் உள்ள ஹைடிரஜன் வாயுவை விட இள நிலைப் பருவத்தில் உள்ளது என்று நம்பலாம், ஆனால் சில ஹைடிரஜன் அணுக்கள் மட்டும் உறைந்து சுருங்கி விண்மீன்களாக உருவெடுக்கின்றன என்று கருதப்படுகிறது. இந்த இரு மேக விண்மீன் கூட்டங்களும் நம்மை விட்டுச் சென்று கொண்டிருக்கின்றன. பெரிய மேகம் சுமார் 300 கிலோமீட்டர்/வினாடி வேகத்திலும், சிறிய மேகம் சுமார் 150 கிலோ மீட்டர்/வினாடி வேகத்திலும் சென்று கொண்டிருக்கின்றன. ஜி. டி. வௌகுலியர்ஸ் (G. De. Vauculiars) என்பவர் பெரிய மேகத்தின் மேல் பகுதி சுருள்வில் அமைப்பைக் கொண்டது என்று கூறுகிறார். அத்துடன் அதன் வாயுப் பாலம் நமது விண்மீன் கூட்டம் வரை பரவியுள்ளது என்றும் கருத்துத் தெரிவித்தார். மேலும் இவ்விரு மேகங்களைச் சுற்றிலும் அடர்த்தி குறைந்த ஹைடிரஜனால் ஆன ஒளி வட்டங்கள் தோற்றமளிக்கின்றன.

நமது விண்மீன் கூட்டத்திற்கு வெகு தூரத்திற்கப்பால், அநேக விண்மீன் கூட்டத் தொகுதிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. மௌண்ட் பாலோமார் (Mount Palomar) என்ற இடத்தில் அமைக்கப்பட்ட 200 அங்குல ஒளியியல் தொலை நோக்கியைக் கொண்டு ஆயிரம் மில்லியன் ஒளியாண்டுக்கப்பால் ஆன்ட்ரோமிடா அமைப்பில் உள்ள விண்மீன் கூட்டத் தொகுதிகளை ஆராய முடிந்தது.

இவ்வாராய்ச்சியின் பயனுகச் சுமார் 100 மில்லியனுக்கு அதிகமான விண்மீன் கூட்டக் கொத்துக்கள் உள்ளன என்று தெளிவாயிற்று. இவைகள் அண்டவெளியில் இருக்கும் முறை, காஸ்மோலஜி (Cosmology) ஆராய்ச்சியில் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக இருக்கின்றது.

பாலோமார் தொலை நோக்கியைக் கொண்டு, ஹபுள் (Hubble) என்பவர், மற்ற அநேக விண்மீன் கூட்ட நெபுலாக்களின் புகைப் படங்களை எடுத்தார். அவைகளின் தோற்றம், உருவம் ஆகியவை கள், ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறுபட்டுள்ளது என்று கண்டறிந்தார். சில நெபுலாக்கள் அகன்ற சிறந்த சுருள் வில் புயங்களையும், சில இறுக்கமாக மூடப்பட்ட சுருள் வில் புயங்களையும், மற்றும் சில நெபுலாக்கள் முறுக்கப்பட்ட விநோதமான உருவ அமைப்பையும் கொண்டிருக்கின்றன. காட்டாக, சில சுருள் வில்கள், கோள வில்கள் வடிவமாகவும், மற்றும் சில சுருள் அதிகத் தட்டையாகவும், இன்னும் சில சுருள் வில்கள் பீப்பாய் வடிவத்திலும் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. சில விண்மீன் கூட்டத் தொகுதிகள் மேற்கூறிய அமைப்புகள் எல்லாவற்றையும் கலந்தும் தோற்றமளிக்கின்றன. இத்தகைய விண்மீன் கூட்டத் தொகுதிகளில் சிலவற்றை "விநோதமான விண்மீன் கூட்டங்கள்" (peculiar galaxies) என்று பெயரிட்டுள்ளனர். மோதும் விண்மீன் கூட்டங்கள் (colliding galaxies) என்ற அமைப்புகளும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன.

சென்டாரஸ் (Centaurus) விண்மீன் கூட்டத்தில் அமைந்துள்ள ஒரு விண்மீன் கூட்டக் கொத்தின் குறுக்குக்கோணம் 2 டிகிரி என்று கண்டுபிக்கப்பட்டுள்ளது. இது பூமியிலிருந்து 100 மில்லியன் ஒளியாண்டு தூரத்தில் இருக்கிறது. அதிலிருந்து வெளிவரும் கதிர் வீசல் மிக மிக அதிகம்; இதே அளவுள்ள விண்மீன் கூட்டத்தில் இருந்து வெளிவிடும் கதிர் வீச்சைவிட இத் தொகுதியிலிருந்து வெளிவரும் கதிர் வீச்சு நான்கு மடங்கு இருக்கலாம் என்று ரேடியோ வானவியல் நிபுணர்கள் கருதுகிருர்கள். ஆனபோதிலும் இந்த விண்மீன் கூட்டத் தொகுதியின் மையத்தில் ஒரு விநோத விண்மீன் கூட்டம் இருப்பதாகவும்; அது தான் ரேடியோக் கதிர் வீச்சுக்குக் காரணமாக உள்ளது என்றும் கண்டறிந்தனர். குறுக்கீட்டு விளைவுமானிகளைக் கொண்டு விரிவாக ஆராய்ச்சி நடத்தியதில் 75 விழுக்காடு ரேடியோக் கதிர் வீச்சு இந்த விநோத நெபுலாவில் இருந்து வருகிறது என்று கண்டுபிடித்தனர். அத்துடன் இந்த நெபுலா இரண்டு மோதும் (collide) விண்மீன் கூட்டங்களைக் கொண்டது என்றும் தெரிய வந்தது.

தென்பகுதி அரைக் கோளத்தில் சென்டாரஸ் A, என்ற நெபுலா மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்த ரேடியோ மூலமாகும். ஒளி யியல் தொலைநோக்கி மூலம் இதை உற்று நோக்கினால் கிட்டத் தட்ட இது ஒரு முழுக்கோள வடிவில் இருக்கின்றது. இதன் குறுக்கே ஓர் இருள் பட்டை நீட்டிவிட்டிருப்பது போலத் தோன்று கிறது. இந்த இருள் பட்டை ஒரு தட்டைச் சுருள் வில் விண்மீன் கூட்டம் என்றும், இவ் விண்மீன் கூட்டம், இந்தக் கோள வடிவ நெபுலாவுடன் கலந்துள்ளது என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மேலும் இந்த இருள் பட்டை சுழன்றுகொண்டிருக்கிறது. இதனால் இந்த முழு அமைப்பும் மோதலுக்கு உட்பட்டிருப்பது போலத் தோன்றுகிறது.

முதன் முதலாகக் கேம்பிரிட்ஜ் பல்கலைக் கழகத்தில் ஸ்மித் (Smith) என்பவர், சைஜ்னஸ் (cygnus) என்ற வெளி விண்மீன் கூட்டத்தின் இடத்தை மிகத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடித்தார். இந்த மூலத்தை (source) அடையாளம் கண்டுபிடிப்பது மிகவும் சிரமமாக இருந்தது. ஆனால் இறுதியாக 200 அங்குலத் தொலை நோக்கியைப் பயன்படுத்தி எடுக்கப்பட்ட புகைப் படங்கள் இதன் இருப்பிடத்தை எளிய முறையில் கண்டுபிடிக்கத் துணையாக இருந்தன. இப் புகைப்படங்கள் இரண்டு விண்மீன் கூட்டங்கள் கடுமையாக மோதிக்கொள்வதைக் காட்டின. மோதிக்கொள் வதன் பயனாக, அதன் சிறு சிறு துண்டுகள் பல திசைகளிலும் வினாடிக்கு சுமார் 450 கிலோ மீட்டர் வேகத்தில் பறந்து கொண்டிருப்பதாகத் தோன்றின. ரேடியோத் தொலை நோக்கிமூலம் பார்த்தபொழுது, இவை ஒளியியல் தொலை நோக்கியில் காணப் பட்டதை விடப் பல மடங்கு அதிகப் பருமனாகத் தோன்றின. அத் துடன் இவை இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருப்பது போலவும் இருந்தது.

இரு விண்மீன் கூட்டங்கள் பயங்கரமாக மோதிக்கொள்ளும் பொழுது அவைகளில் உள்ள வாயு, தூசிகள் முதலியவைகளின் வேகங்கள் குறைக்கப்படுகின்றன. அவைகளின் இயக்கங்களினால் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றல் திடீரென்று வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப் படுகிறது. இதனால் அவைகளில் உள்ள துகள்கள் மிக உயர்ந்த வெப்ப நிலைக்குச் சூடாக்கப்பட்டு, கதிர் வீச்சாக ஆற்றல்வெளியிடப் படுகிறது. சைஜ்னஸ்-A-ன் மோதல் மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்த ரேடியோப் பரப்பி (Transmitters) யாக இருக்கிறது. இதனால் சூரியனைப்போல் 100,000 மில்லியன் மடங்கு ஆற்றலைக் கதிர் வீச்சு முறையில் வெளிவிடுகிறது. இது ஆன்ட்ரோமிடா நெபுலா விற்கு அருகில் இருப்பதாலும் பூமியிலிருந்து வெகு தொலைவில்

இருப்பதாலும் இதனுடன் ரேடியோ தொடர்பு கொள்ள முடிய வில்லை. இத்தகைய ரேடியோ மூலம் வெகு தூரத்தில் இருப்பது நமக்கு ஒரு விதத்தில் நன்மையாகும், ஏனெனில் இவ்வாற்றல் முழுவதும் பூமியை அடைந்தால், நம்மால் அதைத் தாங்கிக் கொள்ளவே முடியாது. எனவே பூமியில் எந்த வித உயிரினங் களும் வாழ முடியாது. அத்துடன் நமது வளி மண்டலம் ஒரு காப்பான் போலப் பயன்படுகிறது. உண்மையில் நமது வளி மண்டலத்தைத் தொடர்ந்து இவ்வாற்றல் தாக்குவதால், நிரந்தரமான துருவ ஒளிகள் (aurora) தோன்றுகின்றன.

இதைப் போல, அநேக மோதும் நெபுலாக்கள் அண்மையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அவைகளுள் சைஜ்னஸ் *A* ஐப் போன்ற மற்றொரு ரேடியோ மூலம் பர்சியஸ் (Perseus) ஆகும். இது சைஜ்னஸ் *A* ஐக் காட்டிலும் மிக அருகில் இருக்கிறது. இது பூமியி லிருந்து சுமார் 170 மில்லியன் ஒளியாண்டு தூரத்தில் இருக் கின்றது. இவைகளுக்கிடையில் ஏற்படும் மோதல் மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்தது. இவற்றுள் ஒன்று இறுக்கமாகச் சுற்றப்பட்ட சுருள் வில் வடிவிலும் மற்றொன்று திறந்த சுருள் வில் வடிவிலும் இருக் கின்றது. பிந்தையது தனது வழக்கமான உருவத்திலிருந்து குறிப் பிடத்தக்க அளவிற்கு உருக் குலைவுற்றுக் காட்சியளிக்கின்றது. அவைகளின் நிறமாலைகளை ஆராய்ந்ததில், அவ்விரண்டும் பிரிக்கப் பட்டு, ஒன்று விநாடிக்குச் சுமார் 3000 மைல் வேகத்திலும், மற்றொன்று விநாடிக்குச் சுமார் 5000 மைல் வேகத்திலும் நம்மை விட்டுப் பிரிந்து சென்று கொண்டிருக்கின்றன என்று புலப் பட்டது இவ்விரண்டு வேகங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு அவற்றில் மோதல் திசை வேகத்திற்குச் சமமாக இருப்பதுடன், இம் மதிப்பு ஒளியின் திசை வேகத்தில் சுமார் ஒரு விழுக்காடு இருக்கின்றது. இத்தகைய பயங்கர வேகத்தில் மோதலின் அறிகுறி மறையச் சுமார் ஒரு மில்லியன் ஆண்டுகளாகும்; அதாவது ஒரு மில்லியன் ஆண்டுகளுக்குப் பின் இத்திசை வேகம் சுழியாகும். இத்தகைய காஸ்மோலாஜிக்கல் (cosmological) நாசத்தின் விட்டம் நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் விட்டத்திற்கு ஏறக்குறைய சமம்; அதாவது 100,000 ஒளியாண்டுகளுக்குச் சமம்.

மற்றொரு விசித்திர விண்மீன் கூட்டம் விர்கோ-A (Virgo) என்பதாகும். இதுவும் ஏறத்தாழ கோள வடிவத்தில் இருக்கின்றது. இதன் ரேடியோ மூலத்தின் விட்டம் ஒளியியல் மூலத்தின் விட்டத் திற்குச் சமமாக இருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது. அத்துடன் மோதல் ஏற்படக்கூடிய அறிகுறிகளும் இல்லை. விர்கோ-A-ன் விசித்திரம் என்னவெனில், இதன் மையத்திலிருந்து வெளிநோக்கி,

ஒரு நீல ஒளிக் கீற்று (bright blue streak) நீட்டிக் கொண்டிருக் கிறது. இந்தக் கீற்றிலிருந்து வரும் ஒளி, கிரேப் நெபுலா (Crab Nebula) விலிருந்து வரும் ஒளியைப்போல தள விளைவுற்றிருக்கிறது. இவைகளிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சு தள விளைவுற்ற தன்மை யினாலேயே வெளிவிடப்படுகிறது. அதாவது காஸ்மிக் கதிர் எலக்ட்ரான்கள் ஒரு காந்தப் புலத்தில் இருக்கும் பொழுது சிங்ரோட்ரான் முறையில் கதிர் வீச்சு வெளிவிடப்படுகிறது. விர்கோ-A-ன் நிறை, சூரியனின் நிறையைப் போல சுமார் 1 மில்லி யன் மடங்குகள் அதிகமாகும். இதனால் கிராப் நெபுலாவை விட விர்கோ-A-ல் காஸ்மோலாஜிகல் வெடிப்புகள் அதிகமாகத் தோன்றுகின்றன.

பூட்டீஸ் (Bootes) விண்மீன் கூட்டத்தில் ஒரு தெளிவான விண்மீன் கூட்டம் அடையாளம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது பூமியிலிருந்து சுமார் 5000 மில்லியன் ஒளியாண்டிற்கப்பால் இருக்கிறது. இதனால் ரேடியோ வானவியல் முறையில்தான் இதைப் பார்க்க முடியும்.

அண்மைக் காலம் வரையில், ஆயிரக்கணக்கான ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்களில் சுமார் நூறு ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்களே கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய அதிக தூரத்தில் இருக்கும் ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்களைப் பற்றி ஆராயும் முக்கியத்துவம் என்னவென்றால், வானவெளியில் அவை களின் பங்கீடுகளைப் பற்றித் தீர்மானிப்பதேயாகும். காஸ்மோலஜி முறையில், இந்த விண்மீன் கூட்டங்கள், நமது விண்மீன் கூட்டத் திற்கருகில் இருக்கின்றனவா அல்லது மிகத் தொலைவில் இருக் கின்றனவா என்பதைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்வதே முக்கியத்துவ மாகும்.

காஸ்மோலஜி என்பது இந்த முழு அண்டத்தைப் பற்றி ஆராய்வதாகும். இவ்வுலகில் நாம் நமது கண்ணால் பார்க்கும் பரப்பு ஒரு வரம்புக்கு உட்பட்டிருப்பதால் வானவெளியில் மிகத் தொலைவில் உள்ளவற்றைப் பற்றி ஆராய ரேடியோ வானவியல் ஒரு முக்கிய நவீனக் கருவியாகப் பயன்படுகிறது. ரேடியோ வானவியல் முறையில் ஒளியியல் தொலை நோக்கியால் காண முடியா வெளி உலகப் பொருட்களை எளிய முறையில் ஆராய முடியும். நம்மால் சுமார் 10,000 மில்லியன் ஒளியாண்டிற்குள் இருக்கும் பொருட்களைப் பற்றி ஆராய்ச்சி செய்ய முடியும். இதற் கப்பால் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்கள் மின்காந்த அலைகள் செல்லும் திசை வேகத்தில் (ஒளியின் வேகம்) நம்மை விட்டுச்

சென்று கொண்டிருப்பதால், நமது பார்வைப் புலனிலிருந்து மறைந்து விடுகின்றன. அவைகள் ஒளியின் வேகத்தில் நம்மை விட்டுப் பிரிந்து சென்று கொண்டிருப்பதால் அவைகளிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சு நம்மை அடைய முடியாது. ஒரு விண்மீன் கூட்டத்தின் தூரம் 10,000 ஒளியாண்டிற்குக் குறைவாக இருந்தால் அதிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சை நம்மால் ஏற்க முடியும்.

ஒரு விண்மீன் கூட்டத்தின் நிறமாலையில் ஏற்படும் டாப்ளர் மாற்றத்தைக் கணக்கிட்டு, அந்த விண்மீன் கூட்டம் எவ்வளவு திசை வேகத்தில் நம்மை விட்டுப் பிரிந்து சென்று கொண்டிருக் கிறது; என்று கணிக்கலாம். நாம், தற்பொழுது வெகு தொலைவில் உள்ளவற்றைப் பார்ப்பது கடந்தகால நிகழ்ச்சிகளே என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். சுமார் 5000 மில்லியன் ஒளி யாண்டிற்கு அப்பால் உள்ள நெபுலாவில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சியை நாம் இப்பொழுது பார்க்கிறோம் என்றால் உண்மையில் அந்த நிகழ்ச்சி பூமியே தோன்றுவதற்கு முன் ஏற்பட்ட நிகழ்ச்சியாகும். ஆகவே நாம் இருக்கும் பேரண்டத்தைப்பற்றி எந்தவொரு தோற்றத்தை உருவாக்கினாலும் உண்மையில் அது பல ஆண்டு களுக்குமுன் இருந்த உருவமேயாகும்.

இந்தப் பேரண்டத்தைப் பற்றி இரண்டு முக்கியக் கோட்பாடு கள் (theories) நிலவுகின்றன. ஒன்று பரிணமைக் கொள்கை (evolutionary theory); மற்றொன்று நிலைப்பாட்டுக் கொள்கை (steady state theory) என்பவைகளாகும். சுமார் 5000 மில்லி யன் ஆண்டுகளுக்குமுன், பயங்கரமான ஒரு பெரு வெடிப்பினால் இந்தப் பேரண்டம் தோற்றுவிக்கப்பட்டது என்று பரிணமைக் கொள்கை கூறுகிறது. பிரபஞ்சத்தில் உள்ள பொருள் திணிவு முழுவதும் முதலில் இறுக்கமான, சுருங்கிய ஒரு கோள வடிவத்தில் இருந்தது என்றும் இக் கொள்கை வலியுறுத்துகிறது. இவ்வாறு இருந்த கோளம் திடீரென்று வெடித்ததன் காரணமாக இந்த விண்மீன் கூட்டங்கள் பயங்கர வேகத்தில் இன்னும் நம்மை விட்டுச் சென்று கொண்டு இருக்கின்றன. அதி வேகமாகச் சென்ற விண்மீன் கூட்டம்தான் அதிக தூரம் வான வெளியில் சென்றிருக்கும். ஒரு வானவியல் நிபுணர் ஒரு விண்மீன் கூட்டத்தை இப்பொழுது ஆராய்ச்சி செய்கிறார் என்றால். உண்மை யில் அது இன்னும் குறைந்த தூரத்தில் இருக்கும் பொழுதுதான் அவர் ஆராய்ச்சி செய்தார் என்று சொல்லலாம்.

நிலைப்பாட்டுக் கொள்கை முறைப்படி, இந்தப் பேரண்டம் அடிப்படை அளவில் எப்பொழுதும் ஒன்றாகவே இருக்கிறது; ஆனால்

தனிப்பட்ட விண்மீன் கூட்டங்கள் தோன்றி, வளர்ந்து, பின் மெதுவாக அழிந்து, இறுதியில் முழுவதும் மறைந்து விடுகின்றது. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் தொடர்ந்து நடந்து கொண்டே இருக்கின்றன. இதனுல் ஏற்படும் பொருள் திணிவு இழப்பு தொடர்ச்சியாகத் தோற்றுவிக்கப்படும் ஹைடிரஜன் அணுக்களால் ஈடு செய்யப்படுகிறது. இவ்வாறு ஹைடிரஜன் அணுக்களைத் தோற்றுவிக்கும் வீதம் மிகக் குறைவாகையால், நாம் தற்பொழுது உள்ள உபகரணங்களைக் கொண்டு அவற்றைச் சரியாக நிர்ணயிக்க இயலவில்லை.

பேராசிரியர் ராயில் (Royle) என்பவர் வெகு தொலைவில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களைப்பற்றி விரிவான ஆராய்ச்சிகளைப் பல ஆண்டுகளாகத் தொடர்ந்து செய்தார். ஆராய்ச்சியின் முடிவில், இந்த விண்மீன் கூட்டங்கள் பெரும்பாலும் வெகு தொலைவிலேயே ஒரு முனைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. என்று அவர் கருத்துத் தெரிவித்தார். இக் கருத்து பரிணமக் கொள்கையையே ஆதரிக்கின்றது, முழுமையான உண்மைக்கு வராவிடினும் ராயிலின் கருத்துகள், நிலைப்பாட்டுக் கொள்கையை ஆதரித்தவர்களுக்குப் பெருங் குழப்பத்தைக் கொடுத்தது. பரிணமக் கொள்கையின்படி இப்பேரண்டம் தன் இளமை வயதில் இருக்கும்பொழுது, விண்மீன் கூட்டங்கள் தோன்றுவதும் அவற்றிற்கிடையே மோதல்கள் ஏற்படுவதும் ஒரு சாதாரண நிகழச்சியாகும். நிலைப் பாட்டுக் கொள்கை பேரண்டத்தின் பெரும் பகுதியில் நீண்ட காலத்திற்கு எவ்வித மாற்றமும் இராது என்று கூறுகிறது. ஆனுல் தற்பொழுது ரேடியோ வானவியலில் செய்யப்பட்டுவரும் ஆராய்ச்சிகள் நாம் இப்பேரண்டத்தைப் பற்றி எத்தகைய முடிவை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும் என்பதை நிச்சயமாகப் புலப் படுத்தும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Radio Astronomy — *By Frank W. Hyde*

2. Radio Astronomy — *By Piddington*

# 11. எரி மீன்களும், வால் மீன்களும்

## (Meteors and Comets)

எரி மீன்கள் என்பவை புழுதியும், தூசுகளும், சிறு பாறைத் துண்டுகளும் அடங்கிய ஓர் உருவ வடிவில் அங்கும் இங்கும் அலையும் ஒரு விண்வெளிப் பொருளாகும். அவை எல்லாத் திசைகளிலும் நகரும். அவ்வாறு பூமியின் வளி மண்டலத்தை அவை கடக்கும்பொழுது வெண்சுடர் நிலைக்கு உயர்த்தப்பட்டு எரிநட்சத்திரங்களாக நமக்குத் தெரிகின்றன.

சில சமயங்களில், அவை பூமியில் பயங்கர வெடிப்பு ஓசையுடன் விழுகின்றன. சில சமயங்களில் எரி மீன்களின் அளவு மிகச் சிறிய துகளின் அளவு கூட இருக்கும். இன்னும் சில எரி மீன்கள் பல டன் எடை உள்ளனவாக இருக்கும். 1947-ல் விலாடிவோஸ்டொக் (Vladivostok) என்ற இடத்திற்கு 300 மைல்களுக்கு வடக்கே உள்ள கிராமவாசிகள் பயங்கரக் காட்சி ஒன்றைப் பார்த்தார்கள். வட திசை வானத்தில் ஒரு பிரகாசமான ஒளி தெரிந்தது. இப் பொலிவைப் பின் தொடர்ந்து நீளமான இறகைப் போன்ற புகை பல மணி நேரங்கள் வரை நீடித்திருந்தது. இந்தப் பந்து ஒரு திடமான பாறையால் செய்யப்பட்டிருப்பதுபோல் தோன்றியது. இந்த நெருப்புக் கோளம் சுமார் 2000 மைல்/மணி வேகத்தில் பூமியைத் தொட்டவுடன் பெரு வெடிப்பு ஏற்பட்டது. இப்பேரிரைச்சல் பல மைல்கள் தூரம் வரை கேட்டது. இது வெடித்த இடத்தைச் சுற்றி ஒரு மைல் விட்டமுள்ள வட்டப் பரப்பில் உள்ள பகுதியைப் பாழாக்கியது. அப் பகுதியில் உள்ள மரங்கள் சிறு சிறு துண்டுகளாக ஒடிக்கப்பட்டு பல திசைகளிலும் வீசப்பட்டன.

எரி மீன் பூமியை நெருங்கும்பொழுது வெண்சுடர் நிலையை அடைந்து, வளி மண்டலத்தைக் கடக்கும் பொழுது அதிக வெப்பத்தின் காரணமாக வெடித்து, பல பகுதிகளாகச் சிதறி

விடுவதும் உண்டு. சுமார் 90 அடி குறுக்களவுள்ள துண்டுகள் கூட அப்பகுதியில் சிதறிக் கிடக்கும். சில துண்டுகளில் காணப் படும் பள்ளங்கள் மிகப் பெரியவையாக இருந்தன. அப் பள்ளங் களில் பூமியில் காணப்படும் தாதுப் பொருள்களை ஒத்த பொருள்கள் தென்பட்டன. இத்தகைய எரிமீனின் எடையை பூமியின் வளி மண்டலத்தில் நுழைவதற்கு முன் மதிப்பீடு செய்தால் பல ஆயிரம் டன்கள் இருக்கும் எனத் தெரிய வருகிறது. பூமியின் வளி மண்டலத்திற்குள் நுழைவதற்கு முன் சூரியனைச் சுற்றி வட்டப் பாதையில் ஆயிரக் கணக்கான நூற்ருண்டுகளாகப் பவனி வந்திருக்க வேண்டும் என்ற சாத்தியக் கூறுகள் உள்ளன.

சுமார் 65 ஆண்டுகளுக்கு முன், ரஷ்யாவில் ஒரு மிகப் பெரிய எரி மீன் விழுந்தது. இதன் வீழ்ச்சியால் நில நடுக்கமும், ஏரியல் அதிர்ச்சி அலைகளும் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. இந்த எரி மீனின் வீழ்ச்சியைத் தெளிவான வானத்தில், மத்திய சைபீரியாவில் பரந்த பகுதியில் பார்த்தார்கள். இது எனிசை (Yenisei) நதிக் கரையின் மேற்குப் பகுதியில் ஆரம்பித்து மூகிவி (Mugivi) நதிக் கரையின் கிழக்குப் பகுதி வரை சுமார் 900 மைல் விட்டமுள்ள பரப்பளவு நீடித்திருந்தது. சுற்று வட்டாரத்தில் உள்ள மக்கள் சூரியனையும் மங்கலாக்கும் ஒளியினை உடைய இந்த எரி மீனைக் கண்கூடாகப் பார்த்தார்கள். அது வானத்தைத் தென்கிழக்குத் திசையிலிருந்து வடகிழக்குத் திசையில் சில விநாடிகளில் கடந்து சென்றது. அது சென்ற பாதையில் அடர்த்தியான புழுதி காணப்பட்டது. அது விழுந்த இடத்தில் நெருப்பும், புகை மேகமும் தோன்றியதை அப் பகுதி மக்கள் கண்டனர். இவை மறைந்த பின், அது விழுந்த இடத்திலிருந்து 60 மைல் தூரத்திற்கு அப்பால் கூட காதைச் செவிடாக்கும் பேரிரைச்சல் கேட்டது. இதைப் பின் தொடர்ந்து, பேரிடியும், வெடிப்புகளும், உறுமல்களும் கேட்கப்பட்டன. இதனுல் நில நடுக்கங்கள் ஏற்பட்டன; கட்டடங்கள் நடுங்கின. சன்னல் கதவுகள் உடைந்தன; பொருட்கள் பல திசைகளில் வீசி எறியப்பட்டன. அச் சமயத்தில் அங்கு வாழ்ந்த மனிதன் ஒருவன் தான் அமர்ந்திருந்த வீட்டின் முன் மண்டபத்திலிருந்து பல அடி தூரம் தூக்கி வீசப்பட்டான். அவன் தன் இடத்திலிருந்து தூக்கப்படும் பொழுது, எரிமீன் விழுந்த திசையிலிருந்து வெப்பக் கதிர்வீசல் வருவதை உணர்ந்த தாகச் சொன்னுன். 24 மைல்களுக்கப்பால் நாடோடிகள் தங்கி யிருந்த கூடாரத்தை அப்படியே முழுவதுமாக வானத்தில் தூக்கி எறிந்து விட்டதாகக் கூறப்பட்டது.

உலகின் பல பாகங்களிலிருந்தும் இத்தகைய குழப்பங்களை நில நடுக்க வரைவி (seismograph) பதிவு செய்துள்ளது. நடு

இரவில் கூட மக்கள் எவ்விதச் செயற்கை ஒளியுமின்றி. செய்தித் தாளைப் படிக்கும் அளவிற்கு இந்த எரி மீனின் ஒளி பிரகாசமாக இருந்தது. அதே சமயத்தில் அதற்குப் பின்புறத்தில் அநேக இடங்களில் ஒளி பொருந்திய மேகங்கள் காட்சியளித்தன. மெதுவாக இவ்வொளியின் பொலிவு குறையத் தொடங்கியது. இருப்பினும் முழுவதும் மறைய இரண்டு மாதங்களாயின.

அங்கிருந்த நாடோடிகள் கொடுத்த குறிப்பிலிருந்து ரஷ்ய நாட்டு விஞ்ஞானி ஒருவர் எரி மீன் வெடித்த பகுதியை ஆராயச் சென்ருர். அங்கு தரைமட்டம் ஆக்கப்பட்ட காடுகளைக் கண்டார். அப்பகுதி முழுவதும் அழிக்கப்பட்டு காடுகளில் இருந்த மரங்கள் எல்லாம் தலைகீழாகக் கிடந்தன. இத்தகைய ஆரக்கால் (Radial) அமைப்பில் மரங்கள் விழுந்து கிடப்பது, எரி மீனின் வீழ்ச்சி மாபெரும் வெடிப்பை உண்டாக்கி இருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகின்றது. அத்துடன், அதிர்ச்சி அலைகளால் காடு முழுவதும் மட்டமாக்கப்பட்டிருந்தது. எரி மீன் வெடித்த இடத்தின் மையப் பகுதியில் மிகப் பெரிய, சுமார் 6 மைல் விட்டமுள்ள பள்ளம் ஒன்று, சேறும், சகதியுமாக இருந்தது. இப் பள்ளத்தைச் சுற்றி மண் மேடுகள் சிறு சிறு குன்றுகள் போல் இருந்தன.

இந்த எரி மீன் வெடிப்பதற்கு முன், மாபெரும் நிறையை உடையதாக இருந்திருக்கும் என்பதில் சந்தேகமில்லை. இது பூமியின் வளி மண்டலத்தைக் காஸ்மிக் திசை வேகத்தில் கடந்து வந்து பூமியின் மேல் மோதும் பொழுது இத் திசை வேகம் முழுவதும் அழிக்கப்படுகிறது. இம் மோதல் மாபெரும் விசையோடு கூடிய வெடிப்பாக உருவெடுக்கின்றது. இதனல் அந்த எரிமீன், தூள் தூளாக்கப்பட்டு அழிக்கப்படுகின்றது. இதன் காரணமாக வெடித்த இடத்தில் எரிமீன் பிளவு (meteoric craters) இல்லாமல் இருப்பது ஆச்சரியப்படத்தக்கதல்ல.

மேலே விளக்கிய இரு எரி மீன்களும் அதிசயக்கத் தக்கவைகளாகும். ஆனல், ஒவ்வொரு வருடமும் நூற்றுக்கணக்கான எரி மீன்கள் பூமியின் மீது விழுகின்றன. இவைகளில் அநேகக் காட்சிகள்; அடையாளம் கண்டு கொள்ள முடியாத, அவ்வப் பொழுது தோன்றும் நெருப்புப் பந்துகள் என்பதில் சந்தேகமில்லை. இவற்றுள் சில கூட்டம் கூட்டமாகத் தோன்றும். சில எரிமீன்கள் 'அஸ்டிராய்டு' (Asteroid) மண்டலத்தில் இருந்து வருபவைகளாகும். (அஸ்டிராய்டு என்பது சூரியனைச் சுற்றி வரும் ஒரு சிறிய கோளாகும்.) செவ்வாய் (Mars), வியாழன் (Jupiter) இவைகளின் சுற்றுப்பாதைகளில் ஒரு கோள் (planet) இருக்க நேரும்

பொழுது அக்கோளின் துண்டுகள் (fragmentes) எரி மீன்களாகவும் மாறும்.

பூமியின் மீது தொடர்ந்து இடைவிடாமல் துகள்கள் பொழிந்து கொண்டிருக்கின்றன. அவைகளுள் சிலவற்றிலிருந்து கதிர் வீச்சுகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இத்தகைய ஒளி சூடான துகளிலிருந்து வெளிவிடப்படுவதில்லை; ஆனால் அதனால் தோற்றுவிக்கப்படும் பிரகாசமான வாயுவிலிருந்து வெளிவிடப்படு கிறது இவ்வாயு அயனியாக்கம் செய்யப்படுகிறது. சில நேரங் களில் இவ்வாயு அணுக்கள் கதிர்வீச்சை வெளிவிடுகின்றன. இந்த அயனியாக்கம் ராடார் முறையில் பதுக்கப்படுகிறது. எரிமீன் பொழிவின் (shower) பொழுது காந்தத் துடிப்புகள் (magnetic pulses) தோன்றுகின்றன என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஹார்வார்டு (Harward) பல்கலைக் கழகத்தில் 218 மெகா சுற்றுகளைக் கொண்ட ஏற்பி (receiver) எரி மீன்களிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சை ஆராய்ந்தது. இதில் 24 அடி பரவளையத் தட்டு உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. கற்றையின் மையம் உச்சிப் பகுதியை நோக்கித் திருப்பப்பட்டு ரேடியோ அளவீடுகள் எடுக்கப்படும் சமயத்தில், ஆராய்ச்சியாளர் தமது கருத்துகளை வெளியிட்டார். 475 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர் வெண்ணில் வேலை செய்யும் மற்றோர் ஏற்பி நியூமெக்ஸிகோவில் (New Mexico) நிறுவப்பட்டது. இதில் 17 அடி பரவளையத் தட்டு உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. அத்துடன் ஸ்கிமிட் (Schmidt) காமிராக்களைக் கொண்டு புகைப் படங்கள் எடுக்கப்பட்டு அவைகளை ரேடியோ அளவீடுகளுடன் சரியாகத் தொடர்பு படுத்தி ஆராயப்பட்டது. இவ்வாராய்ச்சியின் பயனாக, எரிமீன்களால் வெளிவிடப்படும் ரேடியோ இரைச்சல் (Radio noise) மிகக் குறைந்த அளவினதே என்று முடிவு செய்யப் பட்டது; இத்தகைய எரி மீன்களின் வேகங்களும், அவைகளின் திசைகளும் பதிவு செய்யப்பட்டன.

1947-க்கும், 1949-க்கும் இடைப்பட்ட காலத்தில் ஜெமினிட் (Geminid) எரி மீன் பொழிவின் திசை வேகம் விளிம்பு விளைவு முறையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. வெவ்வேறு திசைகளில் அங்குமிங்குமாகத் தோன்றி வந்தடையும் எரி மீன்களைப் பற்றி கனடா (Canada) நாட்டில் ஆராயப்பட்டது.

எல்லா எரி மீன்களும் நமது சூரிய குடும்பத்தைச் சார்ந்தவை என்பதை இந்த ஆராய்ச்சிகள் நிலைநாட்டின. இவ்வெரி மீன்கள் கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளை மொத்தப் பாதைகளில் இயங்கு

கின்றன என்பதையும் காட்டின. அங்கும் இங்குமாகத் தோன்றும் எரி மீன்கள் அஸ்டிராய்டு (சூரியக் கோள்கள்) களோடு நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டுள்ளன என்பதை நாம் ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டும். மிகப் பெரிய எரி மீன்கள் சிறிய அஸ்டிராய்டுகளுக்குச் சமமாகவும் இருக்கலாம்.

எரி மீன்களின் அடிச்சுவடுகளினுல் அயனியாக்கம் செய்யப் பட்ட பகுதிகள் ரேடியோ செலுத்துகைக்கு (Radio transmission) உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன. இதற்கு 'எரி மீன் சிதறல்' (meteor scatters) என்பது பெயர். அமெரிக்காவில் இளம் ஆராய்ச்சி யாளர்கள் (amateurs) நீண்ட தூரச் செய்திப் பரப்புதலுக்காக (long distance communication) இம் முறைகளை உபயோகித்தனர்.

அநேக எரி மீன் பொழிவுகள் ராடாரினுல் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளன. ராடார், மங்கிய எரி மீன்களைப் பற்றி ஆராய உதவி செய்வதுடன், பகல் நேரங்களில் வளி மண்டலத்தில் நுழையும் எரி மீன்களைப் பற்றியும், சூரியன் அடிவானத்திற்கு மேல் இருக்கையில் ஆராய முடியாத எரி மீன்களைப் பற்றியும் அறிய உதவுகிறது. பூமியின் வளி மண்டலத்திற்கு மேல் பெரு உயரத்தில் வெண்சுடர் நிலையை அடையத் தொடங்கும் விரைவு எரி மீன்கள், மெதுவாக இயங்கும் எரி மீன்களைவிட அதிக வலிமை வாய்ந்த ரேடியோ எதிரொளிப்புகளைக் கொடுக்கின்றன. சில சமயங்களில் இவைகள் திடீரென மின்னுகின்றன. இதனுல் எரி மீனின் அடிச்சுவடு அமைப்பு மாறுபடுவதால் எதிரொளிப்புகளும் திடீரென மாற்றம் அடைகின்றன. ஏனெனில் எரி மீன் வளி மண்டலத்தில் வழியே வரும்பொழுது கடுமையாக வெப்பப்படுத்தப்படுவதால் அது நொறுங்கிப் பல திசைகளில் சிதறுகின்றது. நொறுங்கும்பொழுது மின்னலையொத்த ஒளி தோன்றுகிறது. சில எரிமீன்கள், வால் நட்சத்திரத்தின் உடைந்த சிறு துண்டுகளாகும்.

1900-ல் இத்தாலி நாட்டு வானவியல் நிபுணர் கியாகோபினி (Giacobini) என்பவர் ஒரு வால் மீனைக் கண்டுபிடித்தார். இது சூரியனைச் சுமார் 6½ வருடங்களாகச் சுற்றி வருகிறது. இதன் பாதை அதிக வேற்று மையம் (eccentric) உடையதாகவும், பூமியின் சுற்றுப் பாதைக்கு வெகு அருகிலும் வந்து செல்வதாகவும் உள்ளது. 1921-ல் டேவிட்சன் (Davidson) என்பவர் பூமியும் இந்த வால் மீனும் மிக அருகில் வரும்பொழுது எரி மீன் பொழிவு ஏற்படும் வாய்ப்புகள் உள்ளன என்று கருதினர். இந்த வால் மீனைப் பின் தொடர்ந்து சிறிய எரிமீன் துகள்களால் ஆன ஒரு மேகம் வருகின்றது என்றும் கண்டுபிடித்தார். 1926, 1933,

1946 ஆகிய ஆண்டுகளில் இந்தப் பொழிவு கண்டுபிடிக்கப் பட்டதன் காரணமாக டேவிட்சனின் கொள்கை உண்மை என்று நிரூபிக்கப்பட்டது. இந்தப் பொழிவிற்கு வால்மீனைக் கண்டு பிடித்த விஞ்ஞானியின் பெயரான கியாகோபினிட் (Giacobinid) என்ற பெயரையே சூட்டினர்.

இந்தப் பொழிவுகள் ஒவ்வொரு தடவையும் விசித்திரக் காட்சி யைக் காட்டின. சில நேரங்களில் இப்பொழிவே முற்றிலும் அழிந்துவிடும். 1933-லும், 1946-லும் தோன்றிய பொழிவுகள் மிகவும் குறிப்பிடத்தக்கனவாக இருந்தன. பொழிவுகளின் எண்ணிக்கை மணிக்கு 4000-க்குமேல் இருந்தன. 1946-ல் தோன்றிய பொழிவு ராடாரினால் ஆராயப்பட்டது; மிகவும் வலிமை வாய்ந்த எதிரொளிப்புகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவ் வெதிரொளிப்புகளிலிருந்து எரிமீன்களின் வேகம் சுமார் 20 கிலோ மீட்டர்/வினாடி என்று கணக்கிடப்பட்டது. இப்பொழிவு வால் மீனின் உடைபட்ட குப்பைகள் என்று கருதப்படுகிறது. ஏனெனில் அந்த வால் மீனின் வேகமும் வினாடிக்கு 20 கிலோ மீட்டராக இருந்தது

ராடார் ஆராய்ச்சிகள் ஒன்று அல்லது இரண்டு அதிசயங் களைக் காட்டின. முதலாவதாக, இப்பொழிவு குறுகிய நேரமே தோன்றியது; அரை மணி நேரத்தில் சுமார் 4000 எதிரொளிப்பு கள் ஏற்கப்பட்டன. சுமார் நான்கு மணி நேரத்தில் பொழிவு முழுவதும் மறைந்துவிட்டது. பூமியானது வால் மீனின் பாதைக்கு அருகில் வரும்பொழுது மட்டும்தான் இத்தகைய பொழிவுகள் ஏராளமாகத் தென்பட்டன. இது $6\frac{1}{2}$ வருடங்களுக்கு ஒருமுறை தோன்றும். எரி மீனின் அடிச்சுவட்டில் தோன்றும் பொழிவுகள் குறுகிய அகலத்தில் நீண்ட தொலைவில் பங்கீடு செய்யப்பட் டிருந்தன.

இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து எரிமீன் பொழிவின் வயதைக் கணக்கிடலாம். இது, சூரியன் எவ்வளவு நேரம் பொழி வைத் தன்பால் பிடித்து வைக்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. வால்மீனின் உடைந்த குப்பைகள். சூரியனால் இழுக்கப்பட்டு சுற்றுப் பாதையில் வரும்பொழுது, சில கோள்கள் தம் பாதையில் சிற்றலைவு வினைவிற்கு (perturbing effect) உட்படுத்தப்படுகின்றன. கியாகோபினிட் பொழிவை வைத்துக் கணக்கிட்டபொழுது அதன் வயது சுமார் 100 வருடங்கள் எனத் தெரிந்தது.

எரிமீன்களைப் பற்றி ஆராய்ச்சி செய்யும் விஞ்ஞானிகள் ஒவ்வொரு வருடமும் உலகின் வெவ்வேறு பகுதிகளில் தோன்றும்

விநோதமான பொழிவுகளைக் கண்டார்கள். இதைப் பற்றிய ஓர் அட்டவணை கீழே காட்டப்பட்டுள்ளது.

| பொழிவு (showers) | நீடித்த காலம் (duration) | மூலவால்மீன் (original comet) | அலைவு நேரம் வருடத்தில் (periods in years) | பிரிவு (class) |
|---|---|---|---|---|
| க்குவாஸ்டிரான் டிட்ஸ் | ஜன 2-3 | கோஜிக் பெல்டியர் 1939 | 7-0 | நிலையானது |
| விரிட்ஸ் | ஏப்ரல் 20-22 | 1861 - I | 4-5 | ,, |
| η-அக்குவேர்ட்ஸ் | மே 2-8 | ஹேலி [?] | 7-6 | ,, |
| ,, | ஜூலை 27 ஆகஸ்டு 6 | தொடர்புள்ள பொழிவுகள் | 3-4 | ,, |
| அரிடிட்ஸ் | மே 29 ஜூன் 18 | | 3-4 | ,, |
| —பர்ஷிம்ஸ் | ஜூன் 1-16 | இன்கே [ ] | 3 3 | ,, |
| β-டாரிட்ஸ் | ஜூன் 4-ஜூலை 5 | ,, | ,, | ,, |
| பர்ஷிட்ஸ் | ஆகஸ்டு 10-14 | 1862 - III | 108 | ,, |
| சியோகோபினிட்ஸ் | அக்டோபர் 10 | சியாகோபினி ஜின்னர் | 6-6 | (periodic) பருவ நிகழ்வு |
| தெற்கு அரிடிட்ஸ் | செப். நவம்பர் | கின்கே | 3-3 | நிலையானது |
| ஒரியானிட்ஸ் | அக். 20-30 | ஹேலி [?] | 76 | ,, |
| டாரிட்ஸ் | அக். 26 நவ. 22 | இன்கே | 3-3 | ,, |
| லியோனிட்ஸ் | நவம்பர் 16-17 | 1866 - I | 33 | (periodic) பருவ நிகழ்வு |
| ப்பிலிட்ஸ் | நவ. டிசம்பர் | ப்பிலா | 6-6 | Lost |
| ஜெமினிட்ஸ் | டிச. 12-13 | — | 1-6 | நிலையானது |
| உர்ஸிட்ஸ் | டிச. 22 | டட்டல் 1939 K | 13-5 | ,, |

மேலே காட்டப்பட்டுள்ள எல்லாப் பொழிவுகளைப் பற்றியும் நாம் விரிவாக ஆராயப்போவதில்லை. ஆனால் சில பொழிவுகளைப் பற்றி மட்டும் பார்ப்போம். பர்சியஸ் என்ற விண்மீன் கூட்டத்திலிருந்து வருவதாகத் தோன்றும் பொழிவு மிகவும் விசித்திரத் தன்மை வாய்ந்தது. இது வடக்கு அரைக்கோளப் பகுதியில், ஆகஸ்டு மாதத்தில் முதல் இருவாரங்களில் சாதாரணமாகத் தெரியும். ஷியாப்பரல்லி (Schiaparelli) என்ற இத்தாலிய நாட்டு

வானவியல் நிபுணர், பர்ஷிட் (Perseid) என்ற பொழிவைக் கண்டு பிடித்தார். அவர் செவ்வாயில் (Mars) பல வாய்க்கால்கள் இருப்பதாகக் கருதினர். அவரது கணித முறை, 1862-ல் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட வால்மீன் ஒரு முறை சூரியனைச் சுற்றிவர சுமார் 120 ஆண்டுகள் ஆகின்றன என்பதை ஒத்திருந்தது. அது சூரியனிலிருந்து சுமார் 2000 மில்லியன் மைல் தூரத்தில் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. பர்ஷிட்டின் துகள்கள் அதிக வேகத்தில் (அதாவது வினடிக்கு சுமார் 60 கிலோ மீட்டர் வேகம்) சென்று கொண்டிருப்பதால் அது மிகவும் பிரகாசமாகத் தோன்றுவதற்கான சாத்தியக் கூறுகள் இருக்கின்றன. பூமி இப்பகுதியைக் கடந்து செல்ல இரண்டு வாரங்கள் எடுத்துக் கொள்கின்றது. இந்த நாட்களில் பூமி சுமார் 30 மில்லியன் மைல்கள் பயணம் செய்திருக்க வேண்டும். இவ் வெரிமீன் துகள்கள் பரப்பப்பட்டிருக்கும் பகுதி, இவைகள் ஒரு முதிர்ந்த வால் மீனின் குப்பைகள் (debris) என்பதைச் சுட்டிக்காட்டுகிறது. புகைப் படங்களும், ரேடியோ ஆராய்ச்சிகளும் இத்தகைய குப்பைகள் பரப்பப்பட்டிருக்கும் பகுதி சுமார் 10° கோணத்தைத் தாங்குகிறது என்பதை உறுதிப்படுத்து கின்றன. அத்துடன் இப் பரப்பளவில் துகள்கள் ஒழுங்கற்ற முறையில் பங்கீடு செய்யப்பட்டு, கூட்டம் கூட்டமாகவும், தொகுதி தொகுதியாகவும் வருவது போலத் தோன்றுகிறது. இத்தகைய கூட்டங்கள் சில சமயங்களில் மணிக்கு 200 ஐயும் தாண்டுவதாக உள்ளது. வேறு சில சமயங்களில் இது 20-க்கும் குறைந்து விடுகிறது. இவைகளின் வயது ஆயிரக்கணக்கான அல்லது மில்லியன் வருடங்களுக்குச் சமம். எப்படி இருப்பினும், இத் துகள்கள் குறைந்த கால அளவிற்குள் சூரியனில் விழுந்து விடும்.

ஒவ்வோர் அக்டோபர் மாதத்திலும், டாரஸ் (Taurus) தொகுதியிலிருந்து எரி மீன் தோற்றம் இருக்கிறது. வழக்கமாக இத்தோற்றம் அக்டோபர் மாத இறுதியிலிருந்து நவம்பர் மாதம் முழுவதும் இருக்கும். இச்சமயத்தில் எரி மீன் தோற்றம் மணிக்கு சுமார் 10 முதல் 15 வரை இருக்கும். ஆனல் அவற்றின் பொழிவு வானத்தில் அதிகப் பரப்பளவு வியாபித்து இருக்கும். இத் துகள்களின் சுற்றுப்பாதை, முழுவதுமாக வியாழனிலேயே (Jupiter) அமைந்திருப்பதுடன், அந்த எரிமீன்கள் எல்லாம் ஒரே சமயத்தில் பல புள்ளிகளிலிருந்து கதிர் வீசுவது போலத் தோன்றும். விப்பிள் (Whipple) என்ற அமெரிக்க விஞ்ஞானி சுற்றுப்பாதையைப் பற்றி விரிவாகப் பகுப்பாய்வு (analyse) செய்து, இத்தகைய பொழிவு ஒரு வருடத்தில் இரு தடவைகள் காணப்படவேண்டும் என்று உணர்ந்தார். இவரது இக் கருத்தை 1960-ல் ஜோட்ரல் பேங்க் ரேடியோ வானியல் நிபுணர்கள் உண்மை என்று நிரூபித்தார்கள்.

இப்பொழுது அந்த உடைபட்ட துண்டுக் குப்பைகள் புகழ்பெற்ற என்கே (Enke) யின் வால் மீனுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளதாகத் தோன்றுகிறது ; அதன் வயது சுமார் 5,000 ஆண்டுகள் என்று வானியல் விஞ்ஞானிகள் முடிவு செய்தார்கள்.

மறைந்த சில வால் மீன் அல்லது எரி மீன் பொழிவுகளைக் கண்டு பிடிப்பதற்கும், ரேடியோ வானியல் உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. 1947-க்கும், 1957-க்கும் உள்ள இடைக்காலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட எரி மீனின் ஓட்டத்தை (stream) ஆராய ராடார் தொழில் நுணுக்கங்கள் பயன் படுத்தப்பட்டன. இந்த எரி மீன் ஓட்டம் பைலிட்ஸ் (Bieliids) என்றும், இது பைலா (Biela) என்ற வால் மீனின் மீதிப் பகுதி என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்த வால் மீன் 1828-ல் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இது உடைந்து மறையும் வால் மீன்களில் ஒன்ருகும். இது மீண்டும் 1845-ல் தோன்றிய பொழுது இரண்டு வால் மீன்களாகத் தோற்றமளித்தது. ஒன்று சிறியதாகவும், மற்ருென்று பெரியதாகவும் இருந்தது. சிறியது, பெரியதைப் பின் தொடர்ந்து செல்வதுடன், விரைவில் வளர்ச்சியுற்று அதற்குரித்தான வால் பகுதியுடன் தோன்றியது. மீண்டும் இவைகள் 1852-ல் தோன்றியபொழுது இரண்டு வால் மீன்களும் மங்கலுற்று மில்லியன் மைல்களுக்கப்பால் இருந்தன. அதற்குப்பின் இவ்வால் மீன்களைப் பற்றி எவ்வித ஆராய்ச்சியும் செய்ய முடியவில்லை. எனினும் அவைகளின் உடைபட்ட துண்டுகள் (debris) 1872-லும், 1885-லும் கடுமையான எரிமீன் பொழிவுகளாக உருவெடுத்தன. இத்தகைய பொழிவுகள் மணிக்குச் சுமார் 10-லிருந்து 20 ஆயிரம் வரை இருக்கும் என்று ஆராய்ச்சியாளர்கள் கருத்துத் தெரிவித்தனர். இது மறுபடியும் நிகழ 6 வருடங்கள் ஆகின்றன என்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் சில தடவை ஏற்பட்டுப் பின் நடைபெறவில்லை. ஏனெனில் முதலில் உடைபட்ட துண்டுகள் சில தடவை தோன்றி மறைந்த பின், அவைகள் மேலும் மேலும் பிரிக்கப்பட்டு சிதறடிக்கப்படுவதால், ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப் பின் அவைகளை நாம் பார்க்க முடிவதில்லை.

மற்ருெரு அதிசயிக்கத்தக் தோற்றம் லியோனிட்ஸ் (Leonids) என்ற பொழிவாகும். இப் பொழிவு 1866 வால் மீனேடு தொடர்பு கொண்டது. இதன் தோற்றம் சுமார் $33\frac{1}{3}$ வருடத்திற்கொரு முறையாகும். 1833-லும், பின் 1866-லும் மிகப் பெரிய அளவிற்குப் பொழிவு தோன்றிய போதிலும், இப்பொழுது இது அழிந்து கொண்டிருக்கின்றது. இதன் பாதை மிகப் பெரிய கோள்களினுல் உருச் சிதைவடைகிறது. நம்மால் இதன் முதன்மைக் கூட்டத்தினூடே சென்று ஆராய முடியவில்லை.

ஒரு சமயத்தில் சில எரி மீன் துண்டுகள் வெளியிலிருந்து வருவதாகக் கருதப்பட்டது. இதைப் பற்றி டேவிஸ் (Davis), கில் (Gill) என்பவர்கள் ஆராய்ச்சி செய்தனர். இவர்கள் அங்கும் இங்குமாகத் தோன்றி வரும் அநேக எரி மீன்கள், முன் கூறியதைப் போல, அஸ்டிராய்டு பகுதியிலிருந்து தோன்றுகின்றன என்று கண்டு பிடித்தார்கள். இவர்கள் விரிவாகச் செய்த ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து அங்கும் இங்கும் அலையும் எரி மீன் துகள்கள் எல்லாம் சூரிய குடும்பத்தின் உறுப்பினர்கள் என்பது முடிவாகத் தெரிய வந்தது.

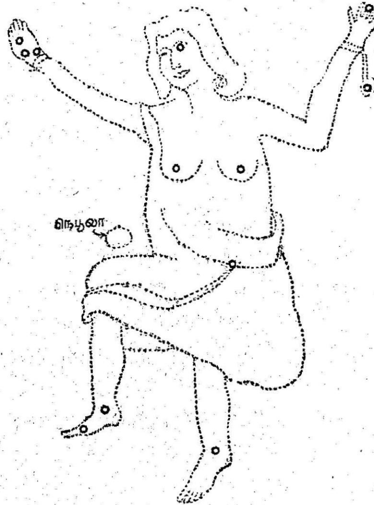
ஒவ்வொரு நாளும் பூமிக்கு வந்தடையும் எரி மீன்களின் எடை சுமார் 5 அல்லது 6 டன் இருக்கின்றது என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இதில் சுமார் 10,000 மில்லியன் துகள்கள் இருக்கலாம் என்று கருதப்படுகிறது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Meteors — *By Kaiser J. R.*
2. Meteor Astronomy — *By Lovell A. C. B.*
3 Comets and meteor streams — *By Porter J. G.*

# 12. வெடிக்கும் அண்டங்கள்
## (Exploding Galaxis)

ஆன்டிரமேடா விண்மீன் கூட்டத்தில் — குறிப்பாகக் கூற வேண்டுமானால் பெண்ணின் மடியில் — ஒரு பெரிய தெளிவற்ற விண்மீன் போன்று தோன்றுகின்ற ஒன்றை மேகக் கூட்டங்களற்ற இரவில் பார்க்கலாம். இதுதான் ஆன்டிரமேடாவின் பெரிய




படம் 12·1.

ஆன்டிரமேடா

நெபுலா (Nebula) எனப்படும். வானியல் வல்லுநர்கள் இதை *M 31* என்று அழைத்தனர். இது நமது விண்மீன் கூட்டத்திற்கு அப்பாற்பட்டது. இதை மட்டும்தான் இரவில் தொலைநோக்கியின் உதவியின்றிப் பார்க்க முடியும்.

உண்மையில் $M31$ வேறொரு விண்மீன் கூட்டமாகும். இதைப் பால்வழியின் சகோதரி என்று சொல்லலாம். பால்வழியைப் போலவே இதுவும் 1,00,000 மில்லியன் விண்மீன்களைக் கொண்டதாகும். இந்த எண்ணிக்கை ஏறக்குறைய 10 அடி கன சதுரமான பெட்டியில் நிரப்பக்கூடிய மணலின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும். பால்வழியில் உள்ளதைப் போலவே இந்த விண்மீன்கள் யாவும் கிட்டத்தட்ட ஒரு ''பிளம் பழ'' (plum stone) வடிவில் ஒரே பொருளாகச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. ஆனால் பால் வழியைப் போலவே இதிலும் சுருள் வில் புயங்கள் உள்ளன. ஒரு தொலைநோக்கியின் வழியே காணும்பொழுது, இது நீரில் உள்ள சுழல்போல் தோற்றமளிக்கிறது.

பால்வழியில் விண்மீன்களுக்கிடையே உள்ள வாயுக்கள் ரேடியோச் சைகைகளை அனுப்புவதைப் போல $M31$-ன் வாயுக்களும் ரேடியோச் சைகைகளை அனுப்புகின்றன. இவற்றைப் பூமியில் உள்ள ரேடியோத் தொலைநோக்கிகளால் பெறலாம். இவ் விண்மீன் கூட்டம் ரேடியோத் தொலைநோக்கியால் காணும்பொழுது சாதாரணத் தொலை நோக்கியால் காணும்பொழுது தோன்றுவதைவிட மிகவும் பெரியதாகத் தோன்றுகிறது. ஏனெனில் இது ஒரு பெரிய வாயுவாலான ஒளி வளையத்தினால் (halo) சூழப்பட்டுள்ளது. இந்த வளையத்தில் ஒளி குன்றிய விண்மீன்கள் பதிந்துள்ளன. பால் வழியே இத்தகைய ஓர் ஒளி வளையத்தால் சூழப்பட்டிருப்பது நினைவிருக்கலாம்.

சில விண்மீன் கூட்டங்களில் இன்னும் பல மடங்கு பெரிய ரேடியோ வளையங்கள் உள்ளன. சென்டாரஸ் (Centaurus) என்ற விண்மீன் கூட்டம் 13 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் உள்ளது. இது ரேடியோ அலைகளை நமது விண்மீன் கூட்டம் வெளிவிடுவதைப் போல் 50 மடங்கு அதிக அளவு வெளிவிடுகிறது. 1962-ல் ஆஸ்திரேலியாவில் பார்க்கிஸ் (Parkes) என்ற இடத்தில் உள்ள 210 அடி தொலைநோக்கி முதன் முதலில் இந்த சென்டாரஸ்-$A$ என்பதைத்தான் காணப் பயன்பட்டது. சென்ட்ராஸ் $A$-ல் பல்வேறு பகுதியிகளிருந்து வருகின்ற அலைகளை ஆராய்ந்து ரேடியோ வானியல் நிபுணர்கள் முதன் முதலாகத் தொலைவில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்களில் காந்தப் புலனின் அமைப்பை ஆராய்ந்தனர். ஆனால் இன்னும் அதிகத் தொலைவில் உள்ள சில விண்மீன் மண்டலங்கள் இதைவிடச் சிறந்தவையாகவும், வியப்பூட்டும் செய்திகளைத் தரவல்லவையாயும் அமைந்துள்ளன. 1946-ல் ஸ்டான்லி ஹேயும், அவருடைய நண்பர்கள் இருவரும் ரிச்மாண்ட் ஹில் ஆய்வுக் கூடத்தில் முதன் முதலாக ரேடியோ

விண்மீன்களைக் கண்டனர். அப்பொழுது அது ஒரு சிறிய ரேடியோ அலைமூலமாகக் கருதப்பட்டது. இப்பொழுது அது தான் மிகவும் வலிமை பொருந்திய இரண்டாவது விண்மீனாகக் கருதப்படுகிறது. அது சைஜினஸ் என்ற விண்மீன் மண்டலத்தில் உள்ளது. இதனுடன் தொடர்பு படுத்தி அறியக்கூடிய தொலை பொருள் ஏதும் அப்பொழுது அறியப்படவில்லை. 1951 ஆகஸ்டில் கேம்பிரிட்ஜ் ஆய்வுக் கூடத்தில் கிரகாம் ஸ்மித் (Graham Smith) என்பவர் இந்த ரேடியோ விண்மீனின் இருப்பிடத்தைத் துல்லிய மாக அளந்தார். இது சைஜினஸின் வல இறக்கைப் புறத்தில் அமைந்துள்ளது. இதைப்பற்றி அவர் அமெரிக்காவின் மிகச் சிறந்த வானியல் நிபுணரான வால்டர் பேடு என்பவருக்கு எழுதினார். பேடு, மலைமீது இருந்த பாலோமர் ஒளியியல் தொலைநோக்கியை அடைந்து, ஸ்மித்தினால் காட்டப்பட்ட திசையில் திருப்பி அந்த ரேடியோ விண்மீனின் நிழற்படங்களை எடுத்தார். தனது நிழற் படங்களின் எதிர்ப் பதிப்புகளை (negatives) விருத்தியடையச் செய்தபொழுது அதில் வழக்கத்திற்கு மாறான இயல்புகள் காணப் படுவதை அறிந்தார். நிழற்படத்தின் மையத்தில் ஒரு '8'-வடிவ அமைப்புக் காணப்பட்டது.

நிழற்படத்தில் தாம் காணுவது இரு விண்மீன் கூட்டங்கள் ஒன்றோடு ஒன்று மோதுவதாகும் என்று பேடு முடிவு செய்தார். இது ஒரு சிறந்த கருத்தாகும். ஏனெனில் இரு கூட்டங்களிலுள்ள வாயு மேகங்கள் மில்லியன் கணக்கான வேகத்தில் சென்று ஒரு பெரிய மின்சாரப் புயலைத் தோற்றுவிக்கும். அதனால் ஏற்படக் கூடிய ரேடியோ சைகையின் வீரியத்தை ஓரளவு நாம் புரிந்து கொள்ளலாம். பல ஆண்டுகள் வரை இக் கருத்து பரவலாக ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது. இருந்தபோதிலும், மேலும் மேலும் ரேடியோ அலை மூலங்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டபொழுது மக்கள் இக் கருத்தைப் பற்றி ஐயம் கொள்ளத் தொடங்கினர்.

1948-ல் ஒரு சில ரேடியோ விண்மீன்களே தெரிந்திருந்தன. 1950-ல் சிட்னி, கேம்பிரிட்ஜ் ஆகிய இடங்களில் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக இவைகளின் எண்ணிக்கை 60-க்கு மேல் உயர்ந்தது. இது 1952-ல் நூறாகவும், 1955-ல், 2.000 ஆகவும் உயர்ந்தது. அவைகளை ஒப்பிட்டபொழுது பெரும்பா லானவை தெளிவற்று இருந்தன. சிலவற்றைக் கண்ணுக்குப் புலனாகின்ற விண்மீன்களுடனோ, அவற்றின் கூட்டத்துடனோ காணலாம். இவற்றிற்குத் தெளிவான விளக்கங்கள் கொடுக்க முடியவில்லை. கண்ணிற்குப் புலனாகாமல், ஆனால் அதே நேரத் தில் ஆற்றல் மிக்க ரேடியோ அலைகளைக் கொடுக்கின்ற இவை

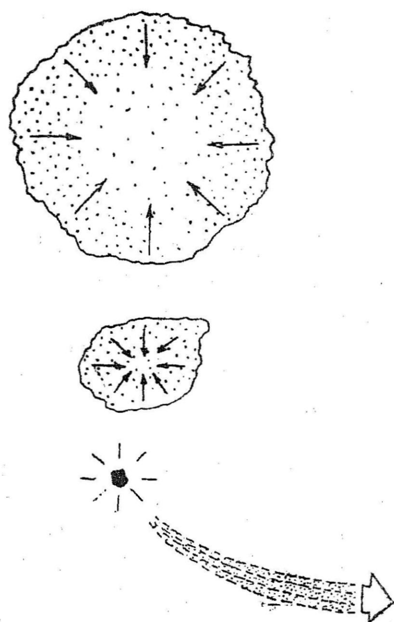
என்னவாக இருக்கும்? அதிகமான ரேடியோ ஆற்றலையும் அதே நேரத்தில் மிகக் குறைந்த ஒளியையும் இவை கொடுப்பது எவ்வாறு என்பதைப் பற்றிய ஐயங்கள் எழுந்தன.

சைஜினஸில் உள்ள ரேடியோ விண்மீன் போன்ற பொருட்கள் மிகத் தொலைவில் உள்ளன. எனவே அவை திறன் மிக்க ஒளியியல் தொலைநோக்கிகளில் தெளிவற்றுக் காணப்படுகின்றன. அவை 200 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் இருந்தும் அவற்றின் விளைவை மிக எளிய ரேடியோத் தொலைநோக்கியில் அறியக்கூடும். காட்டாக, சைஜினஸ் என்ற ரேடியோ விண்மீன் கூட்டம் பூமியிலிருந்து இன்னும் மூன்று பங்குத் தொலைவில், அதாவது 600 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது அது ஒளியியல் தொலைநோக்கியில் தெரியவே தெரியாது. ஆனாலும் அவற்றை ரேடியோத் தொலைநோக்கியால் அறிய முடியும்.

குறிப்பாக ரஷ்ய நாட்டு விஞ்ஞானிகள் விண்மீன் மண்டலங்கள் மோதிக்கொள்கின்றன என்ற கருத்தை ஒத்துக்கொள்ளவில்லை. பிரிட்டன், ஆஸ்திரேலியா, அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகள், ஹாலந்து ஆகிய நாட்டு விஞ்ஞானிகளும் இக் கருத்தைப் பற்றி ஐயுற்றனர். ஆனல் பிற்காலத்தில் புதிதாகத் தோன்றிய கருத்து, அதாவது விண்மீன் மண்டலங்கள் பலத்த ஒலியுடன் வெடிக்கின்றன (explode) என்பது இன்னும் வியப்பூட்டுவதாக இருந்தது.

ஓர் ஒளித் தெறிப்பையும் (bright flash), அதைச் சூழ்ந்து ஒரு புகை மண்டலத்தையும் நாம் பார்க்கும்பொழுது, அவை வியப்பைக் கொடுக்கும். கூடவே ஒரு வலிமை வாய்ந்த ஓசையையும் கேட்டால் ஏதோ வெடித்துவிட்டது என்று உடனே அறிந்து கொள்கிறோம். ஒளியைக் கொண்டு விநோதமான விண்மீன்கள் வாலுடன் பொருளின் ஜெட் மாதிரி விண்மீன்களின் மத்தியிலிருந்து வருவதை வானியல் நிபுணர்கள் கண்டுள்ளனர். *M87* விண்மீன் மண்டலம் இதற்கு ஒரு சிறந்த உதாரணமாகும். இது ஓர் ஆற்றல் மிக்க ரேடியோ மூலமாகும். *M87*-ம் அதைப் போன்ற விண்மீன்களும், வெடிக்கின்ற விண்மீன் மண்டலங்களோ என விஞ்ஞானிகள் வியந்தனர். ஆனல், 1,00,000 மில்லியன் விண்மீன்களையுடைய ஒரு மண்டலம் எவ்வாறு வெடிக்க முடியும்?

1962-ல் ஃபிரட் ஹாயில், வில்லியம் ஃபௌலர் ஆகிய இருவரும் விண்மீன்கள் எவ்வாறு தோன்றின என்பதைப் பற்றி ஆராய்ந்த பொழுது இதற்கு ஒரு விளக்கம் கண்டனர். அவர்கள் கருத்து கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 12·2.

சுருங்கும் – வெடிக்கும் அண்டங்கள்

சூரியனைப் போன்று மில்லியன் கணக்கான மடங்கு அதிகமுள்ள ஒரு வாயு மூலம் இருக்கவேண்டும். அது நாளடைவில் சுருங்கிச் சிறுசிறு கூறுகளாகச் சிதறி இருக்கவேண்டும். இச் சிதறிய பகுதிகளே விண்மீன்களாகும். சில சூழ்நிலைகளில் (பெரும்பாலும் இக் கூட்டங்களின் மையத்தில்) இந்தச் சுருங்குகின்ற வாயு வெடிக்காமல் தொடர்ந்து சுருங்கிக்கொண்டே சென்று ஒரு பெரிய விண்மீனாக மாறவேண்டும். வாயு ஒரு சிறிய அளவிற்குச் சுருங்கும்பொழுது மிகவும் ஆற்றல் மிக்க ஈர்ப்பு விசைகள் இயங்கத் தொடங்கி ஒரு ராட்சச விண்மீன் திடீரென வெடிக்கத் தொடங்கும். விண்மீனிலுள்ள பொருள் அதன் மையத்தை நோக்கி மிகுந்த வேகத்தில் விழும். இப்படி உள்நோக்கி விழுவது உள்வெடிப்பு (implosion) எனப்படும். இது வெடிப்புக்கு (explosion) எதிரிடையாகும். இதனுடைய விளைவுகளும் வெடிப்பின் விளைவுகளையொத்து இருக்கும். இந்த உட்வெடிப்பின் பொழுது பொருள் முழுவதும் மையத்தை நோக்கி நேராக விழுவதில்லை. மாறாகப் பெரும்பகுதி மையத்தைவிட்டு விலகிச் சென்று வட்டமாகச் சுழன்று அதிக வேகத்துடன் வெளியேறும்.

இது தான் அவ்விரு நிபுணர்களும் விளக்கிய கோட்பாடாகும். இது திடீரென ஒரு சில மாதங்களுக்குள் கொடுக்கப்பட்டது. இதை உறுதிப்படுத்துவதற்கு ரேடியோ, ஒளியியல் வானியல் நிபுணர்கள் திறன் மிக்க ஒளி அலைகளையும், வெளிவிடுகின்ற ஒரு பொருளையும், அதிலிருந்து பொருள் வேகமாக வெளிவருதலையும் தேட வேண்டியதாயிற்று இத்தகைய ஒரு பொருள் 1963-ல் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. சிரில் ஹசார்டு முதலில் ஜோட்ரல் பாங்கிலும் பின் ஆஸ்திரேலியாவிலும், நிலா, ரேடியோ விண்மீன்களைக் கடந்து செல்கையில் அவற்றை முழுவதாக மறைக்கும் நிலையில் விண்மீன்களின் இருப்பிடத்தைத் துல்லியமாக அளந்தார். இத்தகைய விண்மீன்களில் ஒன்று 3C273 ஆகும். இது கன்னியா ராசி (virgo) கூட்டத்தில் உள்ளது. இதில் இரு சிறிய துண்டுகள் உள்ளதாகக் கண்டுள்ளனர்.

மீண்டும் பாலோமரில் உள்ள 200 அங்குல ஒளியியல் தொலை நோக்கியால் இது ஆராயப்பட்டது. நிழற்படத்தில் மிகச் சிறிய பொருளாக அதாவது சாதாரண விண்மீன் கூட்டத்தைவிட 20 மடங்கு சிறியதாகக் காணப்பட்டது. ஆனால் இது 100 பங்கு அதிகமான ஒளியைக் கொடுத்தது. இதிலிருந்து பொருள் நீண்டு சென்றது. அந்த நீட்சியின் முனை இரண்டாவது பகுதியின் முடிவுடன் பொருந்தியிருந்தது. இந்த வெடிக்கும் விண்மீன் மண்டலம் 1,500 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் இருந்தது. இப்போது 3C 273 ஐப் போன்ற பல வெடிக்கும் கூட்டங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன. இவைகளிலிருந்து செறிவு நிறைந்த ஒளி மிகச் சிறிய நேரமே வரக்கூடும்; ஆனால் ரேடியோக் கதிர் வீச்சுகள் நீண்ட நேரம் வெளிவரக் கூடும். கண்ணுக்குப் புலனாகின்ற ஒவ்வொரு ரேடியோ விண்மீன் கூட்டத்துடனும், கண்ணுக்குப் புலனாகாத ரேடியோ வானியல் நிபுணர்கள் மட்டுமே காணக்கூடிய, பல்வேறு கூட்டங்கள் இருக்கவேண்டும்.

எனவே தொலை அண்டத்தின் இருளில் பாலோமர் மலையில் உள்ள 200 அங்குலத் தொலை நோக்கியால் கூடக் காண முடியாத பல பெரிய ரேடியோ விண்மீன் கூட்டங்களிலிருந்து வருகின்ற சைகைகளைப் பெரிய நுட்பம் வாய்ந்த கருவிகளைக் கொண்டு பதிவு செய்துள்ளனர். எல்லையற்ற வான் வெளியில், ஒளியியல் வானியல் நிபுணர்கள் எப்பொழுதும் நினைத்துக் கூடப் பார்க்க முடியாத தொலைவில் இந்த அண்ட வெளிப் பொருள்களைக் காண்பது வான வெளியின் எல்லையை மேலும் விரிவடையச் செய்வது ஆகிய வற்றோடல்லாமல். மார்ட்டின் ரைல் (Martin Ryle) என்பார் தம் ஆராய்ச்சியை மேலும் தொடர்ந்தார். மேலும் தொலைவில் செல்லச்

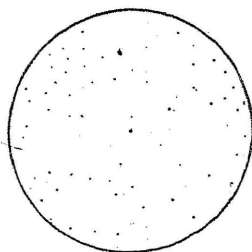
செல்ல மேலும் அதிகமான விண்மீன்கள் இருப்பதாக அவர் கூறுகிறார்.

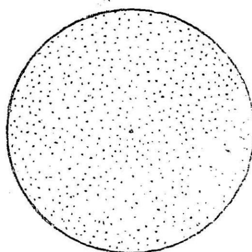
இதைப் புரிந்து கொள்வதற்குப் பேரண்டம் எவ்வாறு உள்ளது என்பதைப் பற்றிய விஞ்ஞானிகளின் கருத்துகளை நாம் நோக்க வேண்டும். ஒரு கருத்தின்படி 10,000 மில்லியன் ஆண்டுகளுக்கு முன் எல்லா விண்மீன்களும், விண்மீன் மண்டலங்களும் ஒன்றாகக் கட்டப்பட்டிருந்தன. பிறகு வெடிப்பைப் போன்ற ஒன்று ஏற்பட்டு இவைகள் தொலை தூரங்களுக்குச் சிதறடிக்கப்பட்டன. நாம் எத்திசையில் பார்த்தாலும் தொலைவில் உள்ள விண்மீன் மண்டலங்கள் நம்மை விட்டு அதிவேகத்தில் சென்று கொண்டே இருக்கின்றன. இது ஒரு குண்டு வெடிக்கும்பொழுது அதன் பகுதிகள் சிதறி எல்லாத் திசைகளிலும் செல்வதை ஒத்துள்ளது.

வேறொரு கருத்தின்படி பேரண்டம் எப்பொழுதும் இருந்து கொண்டே இருக்கின்றது. அதை எந்த இடத்தில் நோக்கினாலும் அதன் அமைப்பு ஒரே விதத்தில் தான் காணப்படுகிறது. நாம் அதைப் பூமியில் இருந்து நோக்கினாலும் சரி; அல்லது விண்மீன் மண்டலத்தின் ஒரு கோளத்தில் இருந்து நோக்கினாலும் சரி ; பேரண்டத்தின் அமைப்பு மாறுவதில்லை.

தொலைவில் உள்ள விண்மீன் கூட்டங்கள் அதிவேகத்துடன் வெளி நோக்கிச் சென்று கொண்டிருக்கும்பொழுது பேரண்டம் எல்லா இடங்களிலும், எல்லா நேரங்களிலும் எவ்வாறு ஒரே மாதிரியாகத் தோற்றமளிக்கக் கூடும் என்பதை விளக்குவதற்கு ஹாயிலும், அவரது ஆதரவாளர்களும் விண்மீன் கூட்டங்கள் வெளிநோக்கி நகரும்பொழுது அவைகளின் இடைவெளியில் விண்மீன்களை உண்டாக்குவதற்குப் புதிய பொருட்கள் தொடர்ந்து உற்பத்தியாகிக் கொண்டே இருக்கின்றன என்று கூறினர். அதாவது அண்டவெளியில் ஏதோ ஒரு விந்தையால் ஹைடிரஜன் வாயுவின் புதிய அணுக்கள் திடீரென்று தோன்றி புதிய புதிய விண்மீன்களையும், விண்மீன் மண்டலங்களையும் தோற்றுவிக்கின்றன. ஒவ்வொரு நிமிடமும் மில்லியன் கணக்கான புதிய விண்மீன்கள் தோன்றுகின்றன என்று கூறினர். இது ஏறக்குறைய ஓர் ஆண்டில் மூன்று புதிய விண்மீன் மண்டலங்களுக்கு—30,000 மில்லியன் விண்மீன்களுக்குச் சமமாகும்.

இந்த இரண்டாவது கருத்தின் அடிப்படையில் பேரண்டத்தின் அமைப்பை ஆராய்வோம். அதாவது பேரண்டம் எப்பொழுதும் எல்லா இடங்களிலும் ஒரே மாதிரித் தோற்றமளிக்கிறது.





படம் 12·3.

ஹாயிலின் கோட்பாடு ரைலின் கோட்பாடு

படம் 12·3-ல் மத்தியில் உள்ள பூமியைக் குறிக்கின்றது. பிற ரேடியோ விண்மீன்கள் (மற்றப் புள்ளிகள்) பூமியைச் சுற்றி ஒரே சீராக அமைய வேண்டும். அதாவது பூமியை விட்டு வெளி நோக்கிச் செல்லும்பொழுது அவை கூட்டங்களாகவோ அல்லது அதிக அளவு விலகியோ இருக்கக் கூடாது. ஆனால் மார்ட்டின் ரைலின் கருத்துப்படி நாம் பூமியை விட்டு வெளியே செல்லச் செல்ல அறியப்படும் ரேடியோ விண்மீன்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கின்றது. மத்தியில் உள்ள கருப்புப் புள்ளி பூமியானால் அதற்கருகில் பல விண்மீன்கள் இல்லை. மிக அதிகமான விண்மீன்கள் விளிம்பில் கூடியுள்ளன என்பதைப் படத்தில் உள்ள புள்ளிகள் காட்டுகின்றன. ரைலின் கருத்துச் சரியானால் ஹாயிலின் கருத்துத் தவறுகிறது. வெடிக்கும் பேரண்டம் என்ற முதல் கருத்தை நோக்குவோமானால் மிக அதிகத் தொலைவுகளில் இன்னும் அதிகமான ரேடியோ விண்மீன்கள் இருக்கவேண்டும் என்பதைப் புரிந்து கொள்ளலாம்.

மிகத் தொலைவில் உள்ள கூட்டங்களில் இருந்து ஒளி அலைகளும், ரேடியோ அலைகளும் நம்மை வந்து அடைய வெகுகாலமாகிறது. சைஜினஸ் விண்மீன் 200 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் உள்ளது. எனவே, நாம் இப்பொழுது காண்பது இப்பொழுது நிகழும் வெடிப்பல்ல, 200 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கு முன் நிகழ்ந்ததாகும்.

அண்டவெளியில் இன்னும் அதிகத் தூரம் சென்றால்-மார்ட்டின் ரைல், தாம் சென்றதாகக் கருதுகிறார் — அதாவது 1,000 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கப்பால் உள்ள விண்மீன்களை நோக்குவதாகக் கொண்டால், பிறகு நாம் அதை 1,000 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கு முன் இளமையாக இருந்த நிலையில் காண

வேண்டும். உண்மையாகவே ஒரு வெடிப்பு 1,000 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கு முன்பு நிகழ்ந்து, பேரண்டம் விரிவடைய ஆரம்பித்து விண்மீன் கூட்டங்கள் அண்டவெளியில் சிதறடிக்கப் பட்டிருந்தால் பிறகு 1,000 மில்லியன் ஒளியாண்டுகளுக்கு முன்பு இப்பொழுது உள்ளதைவிட இன்னும் அடர்த்தியாகக் கட்டப் பட்டிருந்திருக்க வேண்டும். அதாவது பேரண்டத்தின் வரலாறு அடங்கிய ஒரு பிலிம் சுருள் நம்மிடம் இருந்து அதை நாம் பின்னோக்கி ஓட்டினால், அது பேரண்டம் இளமையாக இருந்தபொழுது உள்ள தோற்றத்தைக் காண்பிக்கும்.

மார்ட்டின் ரைல் கருத்துக்கு எதிர்காலத்தில் ஒரு நல்ல வரவேற்பு இருக்கும். ரேடியோ வானியல் மூலமாக நாம் பேரண்டத்தின் உண்மையான அமைப்பை அறிய முடியும் என்று அது கூறுகிறது. பேரண்டம் எல்லா இடங்களிலும் ஒரே மாதிரியானதா? எப்பொழுதும் இருந்து வந்திருக்கிறதா? எப்பொழுதும் ஒரே முறையில் உள்ளதா? அல்லது படைப்பில் ஒரு நாளில் அது தோன்றியதா? இன்றுள்ள உயிரினங்கள் யாவும் ஒரே நாளில் தோன்றியனவா? எப்பொழுது விண்மீன்கள் யாவும் வெற்றிடத்தை நிரப்பும்? என்பன போன்ற கேள்விகளுக்கெல்லாம் ரேடியோ வானியல் விடை பகரக் கூடும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Radio Astronomy — *Nigel Calder*.

# 13. ராடார் வானியல் - அறிமுகம்

## (Radar Astronomy - Introduction)

இயற்கையின் நிகழ்ச்சிகளுக்குக் காரணங்களை அறிய வேண்டும் என்று மனிதன் தொன்று தொட்டு முயன்று வந்திருக்கிறான். காரணங்கள் தெரியாத பொழுது, அவன் இயற்கையின் நிகழ்ச்சிகளாகிய இடி, மின்னல், காற்று, நெருப்பு, மழை ஆகியவற்றைக் கடவுளாக வணங்கி வந்திருக்கிறான். அவைகளை எதிர்த்து ஒன்றும் செய்ய முடியாது என்ற நிலையில் மனிதன் அவைகளைக் கண்டு பயந்து கொண்டே இருந்திருக்கிறான். காலம் செல்லச் செல்ல மனிதனின் அறிவு வளர்ந்தது. நெருப்பை உண்டாக்கவும், அதில் தான் வேட்டையாடிய உணவைச் சமைத்து உண்ணவும் மனிதன் கற்றுக் கொண்டான். பிறகு தனது உடலை மறைக்க ஆடைகள் வேண்டுமென்று அவனுக்குத் தோன்றியது. இவையெல்லாம் நாகரிகத்தின் படிகளாகும். இந்த மாற்றங்கள் மிகவும் அற்பமாக நமக்குத் தோன்றினாலும் இவைகள் நிகழப் பல்லாயிரக் கணக்கான ஆண்டுகள் தேவைப்பட்டன. எனவே மனிதனுக்கு நாளடைவில் அறிவுப் பசி தோன்றியது என்று கூறுவது மிகையாகாது. இதன் ஒரு பகுதியே ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளுக்கு முன் அவன் வானியலைப் பற்றித் தொடங்கிய ஆராய்ச்சிகளாகும். ஆனால் விண்வெளிப் பொருள்கள் என்ற பரந்த கடலில் பூமியாகிய மிகச் சிறிய தீவிலிருந்து கொண்டு மிகவும் அற்பமான தொலை நோக்கிகளைக் கொண்டு ஆராய்ச்சிகளைச் சிறந்த முறையில் செய்ய முடியவில்லை. எனவே விண்ணிலுள்ள பொருள்களை நோக்குவதிலும், அவற்றைப் பற்றிய கற்பனைகளிலுமே அவன் மூழ்கியிருந்தான். இந்நிலையில் அவனுக்கு ராடார் சிறந்த கருவியாகக் கிடைத்தது. ராடாரைக் கொண்டு சந்திரன், சூரியன் மற்றும் கோள்கள் ஆகியவற்றை அவன் ஆராய்ந்தான். விஞ்ஞானம் மேலும் முன்னேற்றம் அடைந்தபொழுது அவன் மற்றக் கோள்களுக்கும் போய்வரத் திட்டமிட்டான். அத்தகைய பயணத்தின் முதற்படியாகச் சந்திரனுக்குப் போய் விட்டு வெற்றியுடன் திரும்பி வந்துள்ளான்.

ராடார் வானியலைப் பற்றிய வரலாறு 1926-ல் தோன்றியது. அப்பொழுது தான் பிரைட் (Breit), தூவே (Tuve) ஆகியோர் ராடார் தத்துவத்தை விளக்கினர். அவர்கள் ராடார் துடிப்புகளை அனுப்பி அவை அயன மண்டலத்தால் எதிரொளிக்கப்பட்டுத் திரும்பி வந்ததைப் பதிவு செய்தனர். 1928-ல் ஹெயிஸிங் (Heising) என்பவர் ராடார் துடிப்புகளை அனுப்பி அயன மண்டலத்தின் கீழ்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் அடர்த்தி திடீரென்று அதிகமாகி மறைவதை எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்புகளிலிருந்து அறிந்தார். ஸ்கெல்லட் (Skellett) என்பார் இந்த அதிகரிப்புகள் எரி மீன்களால் ஏற்படும் அயனியாக்கத்தால் உண்டாகின்றன என்று கூறினார். இக் கருத்து 1931-ல் சோதனை மூலம் நிரூபிக்கப் பட்டது. 1931-ல் எரிமீன்கள் தோன்றியபொழுதெல்லாம் அயனியாக்கம் அதிகரித்துக் காணப்பட்டது. எரி மீன்களால் தொடர் வெளிச் சைகைகள் (continuous space signals) எதிரொளிக்கப்படுவதை 1941-ல் இந்தியாவில் சமன்லால், வெங்கட்ராமன் ஆகியோர் அறிவித்தனர். டெல்லி ரேடியோப் பரப்பியிலிருந்து, பண்பேற்றப்படாத ஊர்திக்கு (unmodulated carriers) அவர்கள் தங்கள் கருவியை இசைவித்தபொழுது, சுருதி மாற்றத்தையுடைய கீச்சிடும் ஒலியைக் கேட்டனர். பரப்பியிலிருந்து சென்ற அலைகளுக்கும், இயங்கும் எரி மீனுக்குப் பக்கத்தில் உள்ள அயனி மண்டலத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்டுவந்த அலைகளுக்கும் இடையே தோன்றிய விம்மல் (beats) களே இந்தக் கீச்சிடும் ஒலிகளாகும். இந்த விம்மல்களின் எண்ணிக்கை டாப்ளர் விளைவினால் (Doppler effect) மாறிக் கொண்டே இருந்தது.

இரண்டாவது உலகப் போரின் பொழுது ராடார் சிறந்த போர்க் கருவியாக உருவாக்கப்படும் வரை ராடார் வானியலில் குறிப்பிடத்தக்க ஆராய்ச்சிகள் ஏதும் நிகழவில்லை. போர் முடியும் தறுவாயில் ராடார் சிறந்த கருவியாக உருப்பெற்று விட்டது. போர் முடிந்தபின் ராடாரைச் சமாதானப் பணிகளுக்கும், ஆராய்ச்சிகளுக்கும் பயன்படுத்தினர்.

ராடார் வானியல் 1946-ல் தோன்றியதாகக் கூறலாம். J. H. டிவிட் (J. H. Dewitt), E. K. ஸ்டோடோலா (E. K. Stotola) ஆகியோர் சந்திரனுக்குச் சைகைகளை அனுப்பி அவை எதிரொளிக்கப்பட்டதைப் பதிவு செய்தனர். இங்கிலாந்து நாட்டில் ஹே (Hey), ஸ்டிவர்ட் (Stewart) ஆகியோர் எரி மீன்களை ஆராய்வதற்கு ராடாரைப் பயன்படுத்தினர். சந்திரனிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் சைகைகளைப் பெறுவதற்கு டிவிட், ஸ்டோடோலா ஆகியோர் 115 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ராணுவ ராடார் கருவியைப் பயன்

படுத்தினர். ஒவ்வொரு நான்கு வினாடிகள் இடைவெளியிலும், 3000 வாட்டுகள் உள்ள 0·3 வினாடி துடிப்பு நேரத்தையுடைய துடிப்புகள் அனுப்பப்பட்டன. ஒவ்வொரு துடிப்பையும் அனுப்பிய 2·5 வினாடிகளுக்குப் பிறகு சந்திரனிலிருந்து ஒரு வலிவற்ற எதிரொளிப்புச் சைகை பெறப்பட்டது. அடுத்தடுத்த சைகைகளின் செறிவு மாறிக்கொண்டே இருந்தது. சில சமயங்களில் சைகை முழுவதுமாகக் கேட்கவில்லை.

அமெரிக்காவில் டிவிட், ஸ்டோடோலா ஆகியோர் தங்கள் ஆராய்ச்சிகளைச் செய்து கொண்டிருந்த அதே நேரத்தில் ஹங்கேரி நாட்டில் Z. பே (Z. Bey) என்பவரும் ராடார் துடிப்புகளைச் சந்திரனுக்கனுப்பி அவை எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும்பொழுது அவற்றை ஆராய்ந்தார். அவரது ஆராய்ச்சியின் முடிவுகள் நம்பத்தகாத நிலையில் இருந்த போதிலும் அவர் தம்மிடம் இருந்த மிகக் குறைந்த வசதிகளைக் கொண்டு தமது சோதனைகளை நடத்தியது குறிப்பிடத்தக்கது. அவருடைய பதிவு செய்யும் எந்திரம் வழக்கத்திற்கு மாறாக இருந்தது. அதில் பல நீர்மின் பகுப்புக் கலங்கள் (water volta-meters) தொடர்ச்சியாகப் புறவாயின் ஏற்பிக்கு ஒவ்வொரு துடிப்பையும் அனுப்பிய பின் இணைக்கப்பட்டன. கருவி சிறிது நேரம் இயங்கியபின் பல்வேறு நீர்மின் பகுப்புக் கலங்களில் சேகரிக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன் வாயுவின் பருமனிலிருந்து ஓர் எதிரொளிப்புச் சைகை பெறப்பட்டதோ அல்லது பெறப்படாமையோ அறியப்பட்டது. இம்முறை சுற்றுப்புற இரைச்சல்களிலிருந்து ஒரு வலிவற்ற சைகையைத் தொகுனியாக்க முறையில் (integration technique) அறிவதற்கு எடுத்துக் காட்டாகும்.

1947-ல், ஆஸ்திரேலியாவில் சந்திரனிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்புச் சைகைகள் 18 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-யிலும், 22 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-யிலும் கெர் (Kerr), ஷயின் (Shain), ஹிஜ்ஜின்ஸ் (Higgins) ஆகியோரால் பெறப்பட்டன. இவர்கள் துடிப்புகளை அனுப்புவதற்குக் குற்றலைகளை அனுப்பும் நிலையங்களைப் பயன்படுத்தினர். கெர், ஷயின் ஆகியோர் சைகைகளின் மங்குதல் (fading) இருவகைப்பட்டது என்பதை உணர்த்தினர். ஒன்றில் மங்குதல் ஒரு சில வினாடிகளும், மற்றதில் பல நிமிடங்களும் நீடித்தது. குறுகிய கால மங்குதல் சந்திரனின் அசைவினால் (libration) ஏற்படுவதாகும். சந்திரனின் பரப்பில் பல்வேறு பகுதிகளில் எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும் துடிப்புகளே எதிரொளிப்புச் சைகைகளாகையால் இச்சைகைகளின் கூறுகளிடையே சந்திரன் பூமியைச் சுற்றிச் சுழலும்பொழுது ஒரு கட்டபேதம் (phase difference) நிகழ்கிறது. எனவே, குறுகிய கால மங்குதல் நிகழ்கிறது.

1954-ல் W. A. S. முர்ரே (Murry), J. K. ஹார்கீரிவ்ஸ் (Hargreaves) ஆகியோர் குறுகியகால மங்குதல் ஃபாரடே சுழற்சியால் (Faraday rotation) ஏற்படுவதே என்று நிரூபித்தனர். அதாவது பூமியிலிருந்து வெளியேறுகின்ற அலைகளும், பூமிக்குத் திரும்பி வருகின்ற அலைகளும் அயன மண்டலத்தைக் கடக்கும் பொழுது அவ்வைகளின் தள விளைவுத் தளம் சுழற்சியடைவதால் குறுகிய கால மங்குதல் ஏற்படுகிறது என்று கூறினர். இச் சுழற்சியின் அளவு அயன மண்டலத்தின் தன்மையைப் பொறுத்து மாறுவதால், எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகளில் தள விளைவுத் தளமும் மாறுகின்றது. எனவே, அது சில சமயங்களில் ஆன்டென்ஞவின் தளத்திற்கு இணையாகவும், சில சமயங்களில் செங்குத்தாகவும் அமைகின்றது. இணையாக அமையும்பொழுது, எதிரொளிப்புச் சைகை பெரும் வலிமையுடன் பெறப்படுகிறது. செங்குத்தாக இருக்கும்பொழுது எதிரொளிப்புச் சைகை பெறப்படுவதில்லை.

இரண்டாம் உலகப் போருக்குப் பின் எரி மீன்களைப் பற்றி ஆராய ராடார் உபயோகப்படுத்தப்பட்டது. போருக்கு முன் எரிமீன்களோடு ரேடியோத் தொடர்பு கொண்டதில் எவ்விதச் செய்தியும் கிடைக்கவில்லை. 1946-ல் ஹே (Hey), ஸ்டுவார்ட் (Stewart) என்பவர்களால் முதன் முதலாக எரி மீன்களைப் பற்றி முறையாக ஆராய்ச்சி செய்ய ராடார் பயன்படுத்தப்பட்டது. இவர்களின் ஆராய்ச்சி எரிமீன் அறிவியலில் ஒரு புரட்சியை உண்டாக்கியது. ஒளியியல் முறையில் கிடைக்கும் செய்திகளை விட, ராடாரினுல் கிடைக்கும் செய்திகளின் அதிகரிப்பு வீதம் வெகுவாக உயர்ந்தது. 100 கிலோ மீட்டர் உயரத்தில் நிகழும் எரி மீன் எதிரொளிப்புகளை ஆராய ஹேயும், ஸ்டுவார்ட்டும் 70 மெகா சுற்றுகளில் வேலை செய்யும் ராணுவ ராடாரை உபயோகப்படுத்தினர்கள். இந்த அதிர்வெண் அயன மண்டலத்தின் மாறுநிலை அதிர் வெண்ணைவிட மிக அதிகமாக இருப்பதால், தொடக்கத்தில் குறைந்த அதிர்வெண்ணிற்கு அயன மண்டலத்தினுல் தோற்றுவிக்கப்படும் சிக்கல்கள் தவிர்க்கப்பட்டன. ஹேயும், ஸ்டுவார்ட்டும் அயனியாக்கம் அடைந்த எரிமீனின் சுவடு ராடார் கருவியிலிருந்து சைகை வரும் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் இருக்கும்பொழுது எதிரொளிப்புகள் நிகழ்கின்கிறன என்று முடிவாக நிரூபித்தனர். இதே கருத்தை 1938-ல் பியர்ஸ் (Pears) என்பவர் தெரிவித்தார். பெரும்பாலும் கட்புலனுகும் எரி மீன்கள் ஆன்டென்ஞ கற்றைக்கு செங்குத்துத் திசையில் செல்லும்பொழுது எதிரொளிப்புகளைக் கொடுக்கின்றன என்றும் காட்டினர்கள். மேலும் கண்ணிற்குத் தெரியாத அநேக எரி மீன்களினுலும்

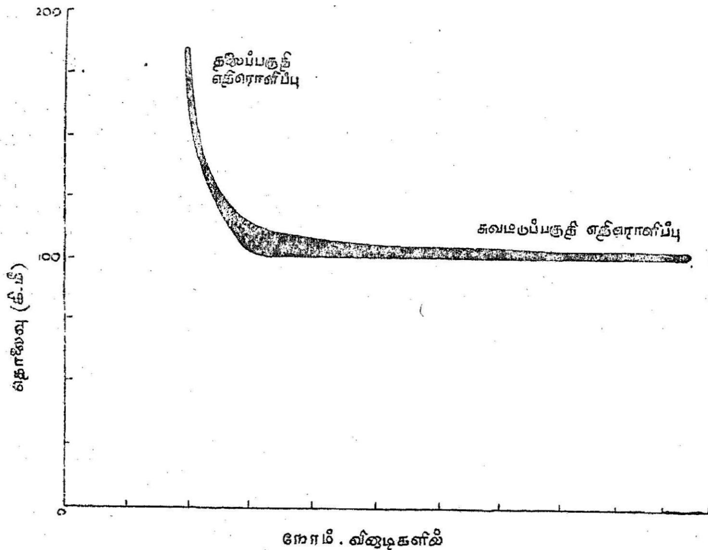
எதிரொளிப்புகள் நடைபெறுகின்றன. எரி மீன்களின் சுவடுகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் சைகைகள் எல்லாமே கிட்டத்தட்ட ஒரே தூர அளவைக் காட்டின. ஆனால் அடுத்தடுத்து வந்த சைகைகளின் செறிவு குறைந்து காணப்பட்டது கடந்து சென்ற எரி மீனின் சுவட்டிலுள்ள அயனிப் பகுதி சிறிது சிறிதாகக் கலைவதனால் செறிவு குறைகின்றது என்று அவர்கள் கூறினார்கள். ஹேயும், ஸ்டுவார்ட்டும் சில சமயங்களில் முதன்மை எதிரொளிப்பிற்கு முன் மங்கலான வெகு வேகத்தில் நகரும் எதிரொளிப்பைக் கண்டார்கள். இது வளரும் அயனிப் பகுதியின் தலைப் பாகம் நகருவதால் ஏற்படுகின்றது என்று விளக்கினார்கள். இத்தகைய அரிதான நிகழ்ச்சிகள் அயனியாக்கத்திற்குக் காரணமாக உள்ள எரி மீன்களின் திசை வேகங்களை நேரடியாக அளப்பதற்கு உதவியாக இருந்தன.

சந்திர எதிரொளிப்புகளைத் தொடர்ந்தும், ஹே, ஸ்டுவார்ட் ஆகியோரின் அருமையான எரி மீன் ஆராய்ச்சிகளுக்குப் பின்பும், உலகில் பல்வேறு பகுதிகளில் குறிப்பாக இங்கிலாந்து, அமெரிக்கா, கனடா ஆகிய நாடுகளில் ராடார் வானியல் ஆராய்ச்சிக் கூடங்கள் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. நவீன முறையில் சந்திரனைப் பற்றிய எதிரொளிப்புப் பரிசோதனைகள் மேலும் புதிய செய்திகளைத் தந்தன. ராடாரின் உதவியால், பூமியிலிருந்து வெள்ளி (Venus) இருக்கும் தொலைவைத் துல்லியமாக அளக்க முடிந்தது. இத் தொலைவை ஒளியியல் முறைகளினால் திருப்தி தரும் முறையில் அளக்க முடியவில்லை. சூரியன், செவ்வாய், புதன் ஆகியவைகளிலிருந்தும் எதிரொளிப்புகள் கிடைத்தன. இவைகளைப் பற்றிப் பின்னர் விரிவாகக் காண்போம்.

**ராடாரினால், எரி மீன்களை ஆராய்தல்**

ஒரு சாதாரண ராடாரின் அமைப்பு முறையைப் பற்றி 'ராடார்' என்ற பகுதியில் விரிவாகக் கூறப்பட்டுள்ளது. எரி மீன் ஆராய்ச்சிக்கு உபயோகப்படுத்தப்படும் ராடாரில், துடிப்புகளை மீண்டும், மீண்டும் அனுப்பும் ஒரு பரப்பி (transmitter) ஓர் ஏற்பியின் (receiver) ஓட்டத்தைப் பரப்பிக்கும், ஏற்பிக்கும் இடையில் நிறுத்தம் அல்லது ஓடச் செய்யும் சாதனம் பொருத்தப்பட்ட ஒரு ஆன்டென்னு, இரண்டு எதிர் மின் கதிர்க் குழாய்கள் (cathode ray tubes) ஆகியவை முக்கியமான பாகங்களாகும். அத்துடன் தூரத்திற்கும் நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைப் பதிவு செய்யவும், துடிப்புகளின் வீச்சுக்கும் நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைப் பதிவு செய்யவும் தேவையான கருவிகளும், பொருத்தப்பட்டுள்ளன. குறைந்த நேரத்தையுடைய மின்காந்த கதிர்வீச்சுத் துடிப்பு

ஆன்டென்னாவிலிருந்து விடுபட்டு, விநாடிக்கு $3 \times 10^{10}$ சென்டிமீட்டர் வேகத்தில் எரிமீனை நோக்கிச் செல்கின்றது. எரிமீனின் அயனியாக்கம் அடைந்த சுவட்டில் துடிப்புப் பட்டவுடன் ஒரு சிறு பகுதி கதிர்வீச்சு சிதறடிக்கப்பட்டு ஆன்டென்னாவை நோக்கித் திரும்பி வருகின்றது. இந்தப் பலவீனமான எதிரொளிப்புத் துடிப்பு ஏற்பியினால் ஏற்கப்பட்டு, பின் பெருக்கிகளினால் (amplifier) பெருக்கப்பட்டு மின்னழுத்தங்களாக மாற்றப்படுகின்றது. இந்த மின்னழுத்தங்கள் எதிர் மின் குழாயின் திசையில் உள்ள எலக்ட்ரான் புள்ளியை இடப்பெயர்ச்சி செய்கின்றன அல்லது எலக்ட்ரான் புள்ளியை அதிகச் செறிவுள்ளதாகச் செய்கின்றன.



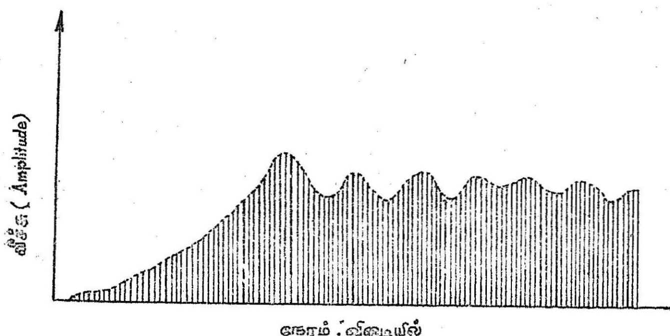

படம் 13-1.

ஓர் எரிமீனின் ராடார்—தொலைவு—நேரப்பதிவு, நெருங்கி வரும் தலைப்பகுதியிலிருந்து சுவட்டுப்பகுதி வரை எடுக்கப்பட்ட படம்.

தூர அலைவுகாட்டி (range oscilloscope) தொடர்ச்சியான எதிரொளிப்பு நேரங்களைக் காட்டுகின்றது. இந்த எதிரொளிப்பு நேரம் எரிமீன் சுவட்டின் தூரத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது, துடிப்பு நேரத்தை ஒத்திருக்கும் வகையில் எதிர்மின் கதிர்ப் புள்ளி செங்குத்துத் திசையில் நகருகின்றது. எலக்ட்ரான் புள்ளியின் செறிவு, ஏற்பியின் வெளிவிடு மின்னழுத்தத்தால் கட்டுப்படுத்தப் படுகிறது. எதிரொளிப்புத் துடிப்பை ஏற்காத பொழுது புள்ளி

பார்ப்பதற்கு மிகவும் மங்கலாகத் தெரிகின்றது. எதிரொளிப்புச் சைகையை ஏற்பி ஏற்கும் பொழுது, எலக்ட்ரான் புள்ளி அதிகப் பொலிவுடன் தோன்றுகிறது. ஆகவே, எதிர்மின் குழாயின் திரையில் செங்குத்துத் திசையில் எலக்ட்ரான் புள்ளி நகர்ந்த தூரம் எரி மீன் சுவட்டின் தொலைவைக் கொடுக்கின்றது. கிடைமட்டத் திசையில் சீரான வேகத்தில் நகரும் ஒரு காமிராவினால் இந்த எலக்ட்ரான் புள்ளி படம் பிடிக்கப்படுகிறது. அடுத்தடுத்த புள்ளியின் பிம்பங்கள், தூரத்திற்கும் நேரத்திற்கும் தொடர்பைக் காட்டும் ஒரு வளை கோட்டை வரைகின்றது. இவ்வளை கோட்டின் வரைபடம் 13·1ல் மேலே காட்டப்பட்டுள்ளது

மற்றோர் அலைவு காட்டி, அதன் புள்ளி மேல் நோக்கி நகரும் தூரம் எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகையின் வீச்சிற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்குமாறு ஏற்பியோடு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் புள்ளியின் பொலிவு ஒரே சீராக வைக்கப்பட்டுள்ளது. இப் புள்ளியும் கிடைமட்டத் திசையில் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் ஃபிலிமினால் படப் பிடிக்கப் படுகிறது. இங்கு அடுத்தடுத்து வரும் எதிரொளிப்புகள் தொடர்ந்து மாறுபட்ட உயரங்களைக் கொண்ட கூர்மையான ஈட்டி போன்ற கோடுகளைக் கொடுக்கின்றன. இக் கோடுகளின் மேல் நுனிகளைச் சேர்க்கும் வளைகோடு, எதிரொளித்தத் துடிப்பின் வீச்சிற்கும் நேரத்திற்கும் உள்ளத் தொடர்பைக் காட்டுகின்றது. இது படம் 13·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




**படம் 13-2.**

ஓர் எரிமீனின் சுவடு தோன்றும் பொழுது ராடாரினால் பதிவு செய்யப்பட்ட எதிரொளிப்பு வீச்சு நேர வரைபடம்

பொதுவாக எரி மீன்களைப் பற்றி ஆராய உபயோகப்படுத்தப் படும் ராடார் அமைப்பின் அதிர்வெண்கள் சுமார் 30-லிருந்து 80 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி வரை இருந்தன. இந்த அதிர்வெண்

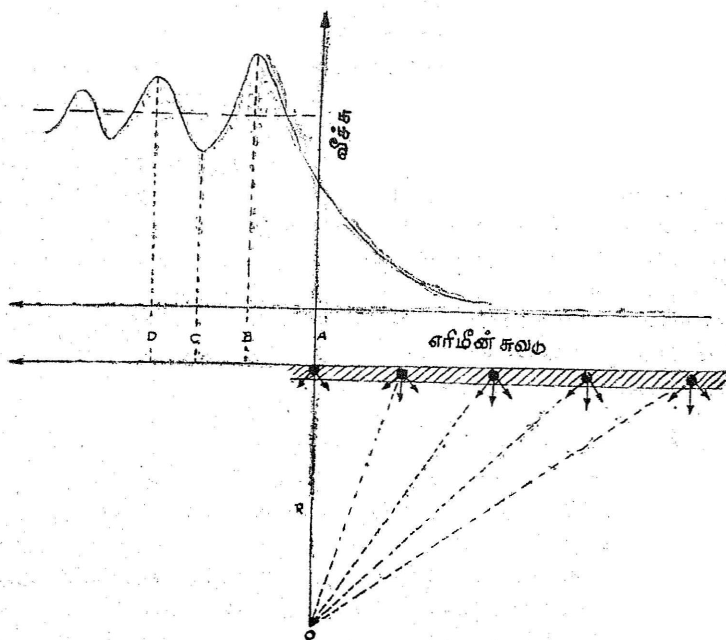
பட்டை அயன மண்டலத்தின் மாறுநிலை அதிர் வெண்ணிற்கு மேல் இருக்கின்றது. எனினும் எரி மீன் சுவடுகளில் அயனியடைந்த பகுதிகளால் சிதறடிப்பதற்குப் போதுமான அளவு குறைவாகவே இவ்வதிர்வெண் பகுதி இருக்கின்றது. எடுத்துக்காட்டாக பரப்பியின் திறன் 10-லிருந்து 100 கிலோ வாட்டுகள் வரையிலும், துடிப்பு அகலங்கள் (pulse widths) 8-லிருந்து 100 மைக்ரோ விநாடிகளும் இருக்கலாம்.

ஓர் எரி மீன் சுவட்டின் நீளம், ராடாரிலிருந்து வரும் ஒரு நேர் கோடு அதைச் செங்குத்தாக வெட்டும் அளவுக்கு வந்தவுடன் முதல் எதிரொளிப்புத் தோன்றுகிறது. இது பெருப்பான்மையான எரி மீன்களுக்கும் பொருந்தும். பிறகு தொலைவு காட்டி (range indicator) ஏறக்குறைய ஒரு மாறுத மதிப்பைக் காட்டுகிறது. இதுவே எரிமீன் சுவட்டின் செங்குத்துத் தொலைவாகும். ராடார் கற்றையின் அகலம் குறுகலாகவும், அதன் திசை தெரிந்தும் இருந்தால் எரி மீன் சுவடு நெருங்கும் சிறுமத் தொலைவு இடத்தைக் கூற முடியும். எரிமீன் சுவட்டின் திசை அமைப்பை அறிவதற்கு இன்னும் சில கூடுதலான செய்திகள் வேண்டும். எரி மீன்களில் ஒளியைச் சிதறுகின்ற பகுதியின் ஏற்றத்தையும், இறக்கத்தையும் ஒரு குறுகிய ராடார் கற்றையைக் கொண்டு பல திசைகளில் ஆராய்வதன் மூலம் அறியலாம்.

சில பொலிவு மிகுந்த எரி மீன்களில் படம் 13·1-ல் காட்டிய வாறு எரிமீன் சுவட்டின் எதிரொளிப்பிற்கு முன்பாக தலைப் பகுதியிலிருந்து பொலிவு குறைந்த எதிரொளிப்புக் காணப்படுகிறது. இவ்வாறு பல்வேறு நேரங்களில் எரிமீனின் தூரத்தையும், அதிலிருந்து திசை வேகத்தையும கணக்கிடலாம். இவ்வாறு கணக்கிடுவதற்கு ஓர் அகன்ற ஆன்டென்ன அமைப்புத் தேவை. அப்பொழுதுதான் அதிக அளவு எரிமீன்களை ஆராய முடியும். ஆனால் அவற்றின் திசைகளைப் பிழையின்றி அறிவது கடினமாகும். மாறாக, ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று முனைகளில் அமைக்கப்பட்ட மூன்று ராடார் நிலையங்களைக் கொண்டு, தலைப்பகுதி எதிரொளிப்பைப் பதிவு செய்தால் பிறகு எரி மீனின் இருப்பிடத்தையும் திசை வேகத்தையும் காலத்தின் அடிப்படையில் அறிமுடியும்.

தலைப் பகுதி எதிரொளிப்புகள் நிகழ்வது மிகவும் அரிதாகையால், எரிமீனின் திசைவேக அளவீடுகள் வேறொரு முறையிலும் எடுக்கப்படுகின்றன. இம் முறையில் எரிமீனின் அடிச்சுவட்டில் சிதறடிக்கப்படும், ரேடியோ அலைகளின் விளிம்பு விளைவுப் (diffratcion) பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந் நிகழ்ச்சிக்கு ஒளி

யியலில் கத்தி முனை விளிம்பு (knife edge diffraction) என்பது பெயர். இதை எந்த இயற்பியல் புத்தகத்திலும் காணலாம். ஓர் எரி மீன் அடிச் சுவட்டிலிருந்து ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு படம் 13·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. O என்ற புள்ளியிலுள்ள ராடார் பரப்பியிலிருந்து துடிப்புகள் அயனியாக்கம் அடைந்த எரி மீன் அடிச் சுவட்டில் பட்டுக் கீழ் நோக்கிச் சிதறடிக்கப்படுகின்றன.




படம் 13-3.

ஓர் எரி மீனின் சுவட்டினுல் ராடார் விளிம்பு விளைவு ஏற்படு தலைப் படம் காட்டுகிறது. O-ல் ராடார் இருக்கிறது. படத்தில் எரி மீன் வலப் புறமிருந்து இடப் புறம் நகருகிறது. எளிய முறையில் விளக்க, எரி மீனின் அடிச்சுவடு ஒரு மெல்லிய நேரான பகுதியெனக் கொள்வோம். அடிச்சுவட்டின் ஒவ்வொரு பகுதியும் ஒரு புள்ளி மூலம் (point source) என்றும், இப் புள்ளிகளிலிருந்து ஆன்டென்னவை நோக்கிக் கதிர்வீச்சு சிதறடிக்கப்படுகிறது

என்றும் கொள்வோம். ஆன்டென்ஞவில் பல்வேறு புள்ளி மூலங் களிலிருந்து அடைகின்ற கதிர்வீச்சுக் கூறுகளின் கட்ட பேதமும், வீச்சும் அவை கடந்த மொத்தத் தூரத்தைச் சார்ந்திருக்கும். இந்தச் சைகையின் தொகு பயன் வீச்சு (resultant amplitude) பல் வேறு சைகைக் கூறுகளின் வெக்டர் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். இதை ஒரு வெக்டர் தொகுனியாக்கம் முறையில் நிர்ணயிக்கலாம். இது கார்னே சுருள் வில் (corno spiral) வடிவத்தில் அமையும். இதிலிருந்து தொகுபயன் வீச்சையும், கட்ட பேதத்தையும் நேரடியாகக் கணக்கிடலாம்.

படம் 13•3-ல் எரிமீன் முன்னேறும் பொழுது அடிச்சுவடு இடப் பக்கத்தை நோக்கி நகருகிறது. படத்தின் உச்சியில் உள்ள வளை கோடு அடிச்சுவடு முன்னேறும் பொழுது ஆன்டென்ஞவில் பெறப்படும். சைகையின் தொகு பயன் வீச்சைக் காட்டுகிறது. சுவட்டின் தலைப்பகுதி $B$ என்ற புள்ளியை அடையும் வரையில் வீச்சும் அதிகரிக்கின்றது. $B$, $C$ என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே வீச்சு குறைகின்றது. ஏனெனில் $B$-க்கு அப்பால் உள்ள புள்ளி மூலங்களிலிருந்து வரும் அலைகள் $B$-க்கு முன் உள்ள புள்ளிகளி லிருந்து வரும் அலைகளுடன் எதிர்க் கட்டத்தில் (out of phase) உள்ளன. தலைப்பகுதி மேலும் முன்னேறும் பொழுது தொகுபயன் வீச்சு படத்தில் காட்டிய முறையில் அலைவறுகிறது. ஏனெனில் தொலைவுகள் $OAO$, $OBO$, $OCO$, $ODO$. ஒவ்வொன்றும் முன்பு இருந்ததைவிட அரை அலை நீளம் அதிகமாகும். ஆகவே $AB$, $CD$ ஆகியவற்றிலிருந்து வருகின்ற அலைகள் ஒன்றையொன்று வலியூட்டும். $BC$-லிருந்து வருகின்ற அலைகள் அழிக்கும்.

அயனியாக்கம் அடைந்த சுவட்டின் தலைப் பகுதியின் திசை வேகம் $V = \frac{0 \cdot 3 \sqrt{\lambda R}}{t}$ என்றச் சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகிறது.

இச் சமன்பாடு எரி மீனின் திசை வேகத்தையும் குறிக்கின்றது. இங்கு $t$ என்பது விளிர்பு விளைவுப் படத்தில் முதல் பெருமம் நிகழ் வதற்கும், முதல் சிறுமம் நிகழ்வதற்கும் (படம் 13·3-ல் $B$, $C$ என்ற புள்ளிகளுக்குச் சரியாக) இடைப்பட்ட கால இடைவெளி யாகும். $R$ - என்பது ஆன்டென்ஞவிலிருந்து எரி மீன் சுவட்டிற் குள்ள செங்குத்துத் தொலைவாகும். இது படத்தில் $OA$ -க்குச் சமம். இத் தொலைவை, ராடாரின் தொலைவு ஆஸிலாஸ்கோப்பி லிருந்து அறியலாம். $\lambda$ என்பது அலை நீளமாகும். இவ்வாறு ராடாரினுல் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பெரும்பாலான எரி மீன்களின் திசை வேகத்தைப் படம் 13·2 ஐக் கொண்டும் சுவட்டின் தொலைவைக் கொண்டும் நிர்ணயிக்கலாம்.

**ராடாரைக் கொண்டு எரி மீன்களில் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளின் முடிவுகள்**

ஏறக்குறைய, 15 பெரிய எரி மீன் பொழிவுகள் உள்ளன. ஒவ்வொன்றும் அவைகளின் குறிப்பிட்ட தேதிகளிலேயே தோன்றுகின்றன. இவைகளில் மூன்று பொழிவுகள் பகல் நேரத்தில் மட்டுமே தோன்றுவதால் ராடார் வானியல் தோன்றுவதற்கு முன்பு இவைகள் புலனாகவில்லை. இப்பொழுதும் கூட இவைகளை ராடார் வானியலைக் கொண்டு மட்டுமே ஆராய முடியும். எரி மீன்களின் திசை வேகங்கள் 20 கிலோ மீட்டர் / விநாடி-லிருந்து 60 கிலோ மீட்டர் / விநாடி வரை உள்ளன. இவைகளை ராடார் அளவீடுகளைக் கொண்டு நிர்ணயிக்க முடியும்.

எல்லா எரி மீன் பொழிவுகளும் சூரியனைச் சுற்றி நீள் வட்டப் பாதைகளிலேயே செல்லுகின்றன. இவற்றுள் சில, சுற்றுப் பாதைகள் மிகவும் பெரியவையாக இருப்பதால், பூமியை நெருங்கும் பொழுது பரவளைய (parabolic) அமைப்பை அடைகின்றன. ராடாரைப் பற்றி அறிவதற்கு முன்பு சில எரி மீன்கள் அவ்வப்பொழுது சூரிய குடும்பத்திற்கு அப்பால் இருந்து வருவதாகக் கருதப்பட்டன. இவைகளின் பாதைகள் நீள் வட்டத்திற்குப் பதிலாக நீள் பரவளையமாக (hyperbolic) இருக்க வேண்டும். இயக்கவியலின் அடிப்படையில், சூரியனைப் பொறுத்து பரவளையப் பாதையில் செல்லுகின்ற ஓர் எரி மீனின் திசைவேகம் 42·2 கிலோ மீட்டர்/ விநாடி இருக்க வேண்டும் என்று காட்டலாம். இதற்குச் சூரியனிலிருந்து எரிமீனின் தூரமும், பூமியின் சுற்றுப் பாதையின் தூரமும் சமமாக இருக்க வேண்டும். பூமியின் சுற்றுப் பாதையை 42·2 கிலோ மீட்டர்/விநாடி -க்கும் அதிகமான திசை வேகத்துடன் கடந்து செல்லுகின்ற எரி மீன்கள் நீள் பரவளையப் பாதையில் செல்ல வேண்டும். இதற்குக் குறைவான திசை வேகத்துடன் செல்லுகின்ற எரி மீன்கள் நீள் வட்டப் பாதையில் செல்ல வேண்டும்.

சூரியனைச் சுற்றி ஏறக்குறைய ஒரு வட்டப் பாதையில் செல்லுகின்ற பூமியின் சராசரி வேகம் 29·8 கிலோ மீட்டர்/விநாடி ஆகும். நீள் பரவளையப் பாதையில் செல்லுகின்ற எரி மீன் இல்லாவிடில், பூமியின் வளி மண்டலத்தில் செல்லுகின்ற எரி மீன்களின் பெருமத் திசை வேகம், எல்லைப் பரவளையத் திசை வேகத்துடன் (limiting parabolic velocity) செல்லுகின்ற எரி மீன் பூமியுடன் நேரடியாக மோதும்பொழுது (head on collision) ஏற்படவேண்டும். அதாவது, திசை வேகத்தின் பெரும மதிப்பு $42·2 + 29·8 + 1·0 = 73$ கிலோ மீட்டர் / விநாடி ஆகும். 1·0 கிலோ மீட்டர் என்பது,

எரி மீன் பூமியினுல் ஈர்க்கப்படுவதால் உண்டாவதாகும். மாருக, சில எரி மீன்கள் நீள் பரவளையப் பாதையிற் சென்ருல் அவைகளின் திசை வேகங்கள் 73 கிலோ மீட்டருக்கும் அதிகமாக இருக்கும். எரி மீன்களின் திசை வேகங்கள் 73 கிலோ மீட்டர் / விஞடி ஆகவோ அல்லது அதற்கு அதிகமாகவோ இல்லை என்பது கனடாவில் மிக்கின்லி (Mckinley) என்பவராலும், இங்கிலாந்து நாட்டில் ஆல்மண்ட் (Almond), டேவிஸ் (Davies), லவ்வெல் (Lovell) என்பவர்களாலும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. இவர்களுடைய ஆராய்ச்சி முடிவுகளிலிருந்து எரி மீன்கள் சூரியனைச் சுற்றி நீள் வட்டப் பாதைகளிலேயே செல்கின்றன என்பதும், அவைகள் சூரிய குடும்பத்தைச் சேர்ந்தவையே என்பதும் புலனுகின்றன.

டேவிஸ் என்பார் மேலே கூறப்பட்டது போல் மூன்று ராடார் நிலையங்களைப் பயன்படுத்தி, மிகவும் அரிதாகத் தோன்றுகின்ற எரி மீன்கள் ஏறக்குறைய இரண்டாண்டுகள் சுற்றுப் பாதை நேரத்தைக் கொண்டுள்ளன என்று காண்பித்தார். அரிதாகத் தோன்றுகின்ற எரி மீன்களின் சுற்றுப் பாதைகள், செவ்வாயின் சுற்றுப் பாதைக்கும், வியாழனின் சுற்றுப் பாதைக்கும் இடையில் குவிந்துள்ள சூரியனின் சிறிய கோள்களின் (Asteroids) சுற்றுப் பாதையை ஒத்துள்ளன. இதிலிருந்து அரிதாகத் தோன்றுகின்ற எரி மீன்கள் உண்மையில் சூரியனின் சிறிய கோள்கள் என்பது புலனுகின்றது. இவை நாளடைவில் சிறிது சிறிதாகத் தேய்ந்து மறைந்து விடுகின்றன.

எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகையின் வீச்சிலிருந்தும், எரி மீன்களின் தொலைவிலிருந்தும், எரி மீன்களின் நிறைகளை ராடார் முறையில் கணக்கிடலாம். எரி மீன்களின் பொழிவிலிருந்தும் அவற்றின் நிறைகளைக் கணக்கிடலாம். எப்பொழுதாவது தோன்றுகின்ற எரி மீன்களின் சராசரி நிறை 0·001 மில்லி கிராமிலிருந்து 100 மில்லி கிராம் வரை உள்ளதாக அறியப்பட்டுள்ளது. 100 மில்லி கிராமுக்கும், 10 மில்லி கிராமுக்கும் இடைப்பட்ட நிறையினையுடைய $10^6$ (ஒரு மில்லியன்) எரிமீன்களிலிருந்து, 0·01 மில்லி கிராமுக்கும், 0·001 மில்லி கிராமுக்கும் இடைப்பட்ட நிறையினையுடைய $6 \cdot 5 \times 10^{10}$ எரி மீன்கள் வரை பூமியை ஒரு நாளில் அடைவதாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

ராடாரைக் கொண்டு எரிமீன்களை ஆராய்ந்ததில் பூமியின் வெளி மண்டலத்தின் மேற்பகுதியைப் பற்றிய புதிய உண்மைகள் தெரிய வந்துள்ளன. எரி மீன் சுவடுகள் சுமார் 60 கிலோ மீட்டர் தூரத்திலிருந்து 100 கிலோ மீட்டர் தூரம் வரை காணப்படு

கின்றன. ராடார் எதிரொளிப்பு அளவீடுகளிலிருந்து வெளி மண்டலத்தின் அழுத்தத்தையும். அயனிச் சேர்க்கையின் தகவையும் அறியலாம். எரி மீன் சுவடுகளின் சலனத்திலிருந்து காற்றின் திசை வேகத்தையும் அறியலாம்.

இனி ராடாரைக் கொண்டு நிலா, மற்றும் கோள்கள் ஆகியவற்றைத் துருவும் முறையைச் சுருக்கமாக இப் பகுதியில் காண்போம். எரி மீன் ராடாரில் (Mateor Radar) பயன்படுத்தப்படுகின்ற கருவிகளில் உணர்வு நுட்பம், சாதாரண விமானங்களைக் கண்டு பிடிக்கும் ராடாரின் உணர்வு நுட்பத்தைவிட மிகவும் அதிகமாக இருக்க வேண்டும். இருந்தபோதிலும் நிலா, கோள்கள் மற்ற அண்டவெளிப் பொருள்கள் ஆகியவை தொலைவில் இருப்பதால், அவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் சைகைகளைப் பதிவு செய்வது ஒரு கடினமான செயலாகும்.

இதைப் புரிந்து கொள்வதற்கு எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் செறிவு (echo power) ராடாருக்கும், எதிரொளிக்கும் தளத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரத்தைப் பொறுத்து எவ்வாறு குறைகிறது என்று காண்போம். எடுத்துக்காட்டாக, ராடார் பரப்பி $P_T$ வாட்டுகள் திறனையுடைய துடிப்புகளை வெளிவிடுவதாகக் கொள்வோம். $G$ என்பது ஆன்டென்னு இலாபம் (gain) எனவும், $D$ -என்பது ராடாருக்கும் இலக்குக்கும் (target) உள்ள தூரம் எனவும் கொண்டால், இலக்கின் ஓரலகுப் பரப்பில் திறன் $\frac{GP_T}{4\pi D^2}$ என்ற சமன்பாட்டினுல் பெறப்படும். இலக்கில் விழுகின்ற ஆற்றலில் ராடாரை நோக்கி எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றலின் பகுதி இலக்கின் பருமன், உருவம், அமைப்பு, பருப் பொருள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருக்கும். இலக்கின் எதிரொளிக்கும் திறனை $\sigma$ என்று குறிப்பிடுவோம். பிறகு ராடாரில் ஓரலகுப் பரப்பில் பெறப்பட்ட எதிரொளிப்புச் சைகையின் திறன் $\frac{\sigma G P_T}{(4\pi D^2)^2}$ ஆகும். திரும்பப் பெறப்பட்ட மொத்த ஆற்றலின் அளவு

$$= P_D = \frac{P_T G \sigma A}{(4\pi D^2)^2} = \frac{P_T \sigma A^2}{4\pi \lambda^2 D^4}.$$

இங்கு $A$ என்பது ஆன்டென்னுவின் செயலுறு பரப்பாகும். $G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$. மேற்கண்ட சமன்பாடு ராடார் சமன்பாடு எனப்படும். இதிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட ஒரு ராடார் அணிக்கு ஆன்டென்னுவில் திரும்பப் பெறப்பட்ட எதிரொளிப்பாற்றல் $\frac{\sigma}{D^4}$ ஐப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது என்பது தெரிகிறது.

ஒரு சாதாரண நீண்ட தூர விமான எதிர்ப்பு ராடார் (anti-aircraft radar) 100 அடி இறக்கை அகலமுள்ள ஒரு விமானத்தைச் சுமார் 200 கிலோ மீட்டர் தொலைவில் வரும் பொழுதே காட்ட முடியும். இத்தகைய விமானத்திற்கு $\sigma$-ன் மதிப்பு 40 (மீட்டர்)$^2$ ஆகும். சந்திரனைப் போன்ற ஒரு கோள வடிவப் பொருளுக்கு $\sigma$-ன் மதிப்பு அதன் குறுக்குப் பரப்பில் 0·1 மடங்கு என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே, சந்திரனுக்கு $\frac{\sigma}{D^4}$-ன் மதிப்பு விமானத்திற்குள்ள மதிப்பில் $\frac{1}{1000}$ பங்கு ஆகும்.

எனவே சந்திரனை ஆராய்வதற்குரிய ராடார், விமானத்தை ஆராய்வதற்குரிய ராடாரைப்போல் 1000 மடங்கு உணர்வு நுட்பம் உடையதாக இருக்க வேண்டும். இந்த அளவு உணர்வு நுட்பம் கூட சூரிய குடும்பத்தின் மற்ற கோள்களை ஆராய்வதற்குப் போதாது. இதைக் கீழ் கண்ட அட்டவணை விளக்குகிறது.

| இலக்கு | சந்திரனைப் பொறுத்து $\frac{\sigma}{D4}$-ன் மதிப்பு |
|---|---|
| பெரிய விமானம் 200 கி. மீட்டர் தொலைவில் | 1000 |
| சந்திரன் (Moon) | 1 |
| சூரியன் (Sun) | $<1 \times 10^{-6}$ |
| வெள்ளி (Venus) | $2 \times 10^{-7}$ |
| செவ்வாய் (Mars) | $1{\cdot}3 \times 10^{-8}$ |
| புதன் (Mercury) | $1{\cdot}7 \times 10^{-9}$ |
| வியாழன் (Jupiter) | $3{\cdot}3 \times 10^{-10}$ |
| சனி (Saturn) | $1{\cdot}7 \times 10^{-11}$ |
| யூரேனஸ் (Uranus) | $1{\cdot}7 \times 10^{-13}$ |
| நெப்டியூன் (Neptune) | $2{\cdot}3 \times 10^{-14}$ |

இலக்கின் பரப்பு அதிகமாக அதிகமாக துடிப்பின் நீளமும் அதிகமாக வேண்டும். இதைப் பொறுத்து மேற்கண்ட அட்டவணையில் $\frac{\sigma}{D^4}$-ன் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. விமானங்களை அறிவதற்கு ஒரு சில மைக்ரோ விநாடிகள் நீளமுடைய துடிப்புகள் போதுமானவை. துடிப்புகள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு குறுகியனவாக இருக்கின்றனவோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு விமானத்தின் தொலைவைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம். வானிலுள்ள கோள வடிவ இலக்குகளை ஆராய்வதற்கு, துடிப்பு நேரம், இலக்கின் விட்டத்தை ரேடியோ அலை கடந்து செல்வதற்கான நேரத்திற்குச் சமமாக வாவது இருக்கவேண்டும். ஆகவே இலக்கின் அண்மைப் புள்ளிகளிலிருந்து ராடார் ஆன்டென்னாவை நோக்கி வருகின்ற கதிர் வீசல் முதலிலும், சேய்மைப் புள்ளிகளிலிருந்து வருகின்ற கதிர் வீசல் பிறகும் வந்தடையும். இந்த அடிப்படையில் சந்திர ராடார் துடிப்பின் நீளம் 11·6 மைக்ரோ விநாடியை விட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இருப்பினும் ஈவான்ஸ் (Evans), டிரெக்ஸ்லர் (Trexler) ஆகியோர், பெரும்பாலான சந்திர எதிரொளிப்பு அதன் பூமியை நோக்கியுள்ள பகுதியில் மிகச்சிறிய நடுப்பகுதியிலிருந்து வருவதாக நிரூபித்துள்ளனர். இதற்குத் துடிப்பு நேரம் $\frac{1}{2}$ மைக்ரோ விநாடிக்கும் குறைவாக இருந்தால் போதும். சந்திரனை விடப் பெரிய பொருள்களை ஆராய்வதற்கு இன்னும் நீளமான துடிப்புகள் வேண்டும். மேலே கொடுக்கப்பட்ட ராடார் சமன்பாட்டிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளத்தில் செயற்படுகின்ற ராடாரின் தொலைவு $D$ ஐ ராடார் அனுப்புகின்ற திறன் $P_T$ ஐ அதிகரிப்பதன் மூலமோ, அல்லது ஆன்டென்னாப் பரப்பு $A$ ஐ அதிகரிப்பதன் மூலமோ, அல்லது $P_D$-ன் மதிப்பைக் குறைப்பதன் மூலமோ அதிகரிக்கலாம். இவற்றுள் முதல் இரண்டை அதிகரிப்பது கடினமாகும். ஆனால் ஏற்பியின் உணர்வு நுட்பத்தைக் கணிசமான அளவு எளிதாக அதிகரிக்கலாம்.

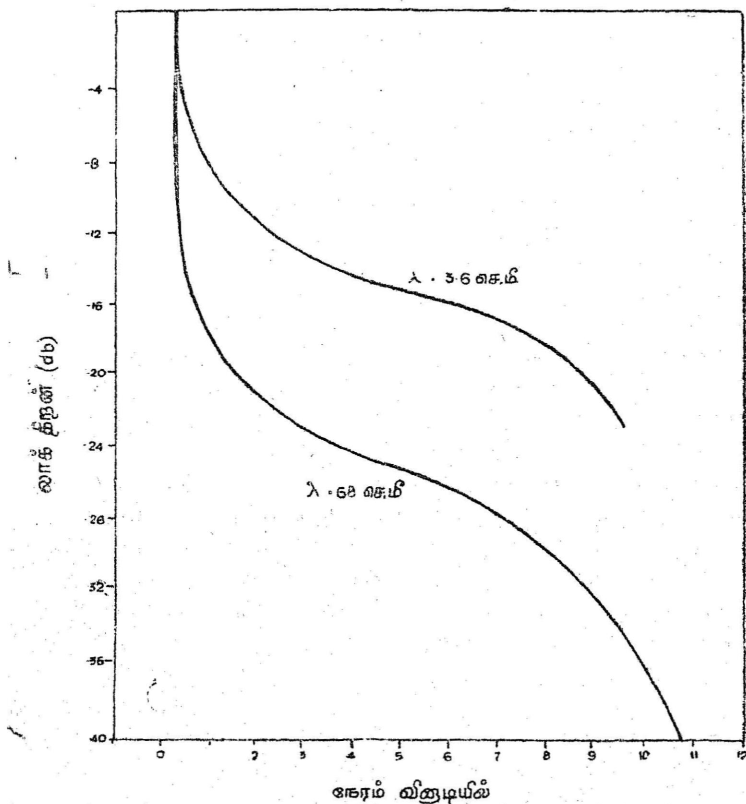
ராடார் சைகைத் திறனின் சிறும மதிப்பு சுற்றுப்புற இரைச்சலால் தீர்மானிக்கப் படுகிறது. இவ் விரைச்சல் ஏற்பியின் பட்டை அகலத்தினால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. மைக்ரோ விநாடிகள் அகலத்தையுடைய துடிப்புகளைப் பயன்படுத்துவதைவிட மில்லி விநாடிகள் அகலத்தையுடைய துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தினால் பட்டை அகலத்தில் $\frac{1}{1000}$ பங்கு குறையும். இதே விகிதத்தில் சுற்றுப்புற இரைச்சலும் குறைவதால் நீண்டத் துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தும்பொழுது உணர்வு நுட்பமும், 1000 பங்கு அதிகரிக்கும். இதைக்கொண்டு பரப்பியின் திறனை அதிகரிக்காமலும், ஆன்டென்

ளுவின் பரப்பை அதிகரிக்காமலும் சந்திரனிலிருந்து எதிரொளிக்கப் படும் சைகையை அறியலாம்.

வெள்ளி என்ற கோளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் ராடார்த் துடிப்புகளை அறிவதற்கு, உணர்வு நுட்பம் பன்மடங்கு அதிகரிக்கப் படவேண்டும். இதை நீண்ட நேரத் தொகுனியாகத் தொழில் நுட்பத்தைக் (long time integration techniques) கொண்டு பெறலாம். பே (Bey) என்பவர் சந்திரனைப் பற்றிய தம்முடைய ஆராய்ச்சியில் கண்ட முறை இதற்குச் சிறந்த உதாரணமாகும். பிற்காலத்தில் வெள்ளியை ஆராய்வதற்குக் கையாண்ட தொகுனி யாக்க முறைகள் மேலும் சிறந்தனவாகும். மில்ஸ்டோன் ராடார் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் செய்த சோதனையில் (Massachusetts institute of Technology) ஒரே சீரான இடைவெளியையுடைய துடிப்புகள் நீண்ட நேரத்திற்கு வெளியே அனுப்பப்பட்டன. இந் நேரத் துடிப்பு பரப்பியை விட்டு நீங்கியதிலிருந்து திரும்பி வந்து அடைய ஆகும் நேரத்தைவிடச் சற்றுக் குறைவாகும். இது 283 விநாடியிலிருந்து 449 விநாடிகள் வரை சோதனைகளின் பொழுது மாறியது. முதல் துடிப்பு, எதிரொளிக்கப்பட்டத் துடிப்பு திரும்பி வருவதற்குச் சற்று முன்பாக பரப்பி துண்டிக்கப்பட்டு ஏற்பியுடன் இணைக்கப்பட்டது. வெள்ளியின் இயக்கம் பூமியின் இயக்கத்தைப் பொறுத்து சைகை அடுக்கத்தில் ஒரு டாப்ளர் விளைவை ஏற்படுத்துவதால், ஏற்பி இந்த அடுக்கத்தில் ஏற்படும் மாறுதலுக்கு ஏற்றவாறு சரி செய்யப்படவேண்டும். சந்திரனை ராடாரைக் கொண்டு ஆராய்ந்ததில் அதன் பரப்பைப் பற்றிய புதிய உண்மை கள் தெரியவந்தன. அண்மைக் காலத்தில் ஏற்பட்ட தொழில் நுணுக்கங்களின்படி சந்திரனின் பரப்பில் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகளின் அளவுகள் கணக்கிடப் பட்டுள்ளன. இவற்றிலிருந்து சந்திரனின் பரப்பில் பல்வேறு இடங்களிலுள்ள மாறுபாடுகள் தெரிய வந்துள்ளன. சைகையைச் சிதறடிக்கும் பருப்பொருளின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலியை யும் (dielectric constant) இதைக்கொண்டு கணக்கிடலாம். ஏனெனில் ராடார் சைகை எதிரொளிக்கப்படுவது, பரப்பின் வழ வழப்பான தன்மையையும் அதனுடைய மின்னியற் பண்புகளையும் பொறுத்துள்ளது.

இதுகாறும் பயன்படுத்தப்பட்ட ராடார் கற்றைகள், சந்திரனின் மேற்பரப்பில் பல்வேறு பகுதிகளில் காணப்படும் பொலிவு மாற்றங் களை அறிவதற்கு வேண்டிய அளவு குறுகியனவாக இல்லாததால், சந்திரனின் பரப்பைத் துருவ, மற்ற முறைகளைக் கையாள வேண் டியதாயிற்று. இதே முறைகளைத் தொலைவை நிர்ணயிப்பதற்கும்

பயன்படுத்தலாம். இப்பொழுது மிகக் குறைந்த துடிப்பு நேரத்தை யுடைய (30 $\mu$ see) துடிப்புகளைக் கொண்டு சந்திரனின் கட்புலனாகும் அரைக்கோளப் பகுதி முழுவதையும் துருவ முடியும். எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்புகள் வெளியே அனுப்பப்பட்ட துடிப்பு களைவிட நீண்டவையாக இருக்கின்றன. ஏனெனில் அவை அரைக் கோளத்தின் வட்டப் பரப்பில் பல்வேறு பகுதிகளில் எதிரொளிக்கப்பட்டு வருகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒவ்வோர் எதிரொளிப்புத் துடிப்பிலும் உள்ள ஆற்றல் அந்த நேரத்தில் சந்திரனின் ஒரு குறுகிய வட்டப் பகுதியால் எதிரொளிக் கப்படும் ஆற்றலின் அளவுகோலாகும். நேரம் செல்லச் செல்ல இவ்வட்டப் பகுதி விரிவடைந்து சந்திரனின் வெளிப்புற விளிம்பை நோக்கிச் செல்லும்.




படம் 13·4.

சந்திரனின் எதிரொளிப்புச் சார்புத் திறனுக்கும் நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

ஈவான் கூறியபடி, இரண்டு அதிர்வெண்களுக்கும், காலத்திற்கும், சந்திரனிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் திறனுக்கும் உள்ள தொடர்பு படம் 13·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பரப்பியிலிருந்து அனுப்பப்பட்ட துடிப்புகளின் நீளம் 30 மைக்ரோ விநாடிகளாக இருந்தது. முன்னேறும் விளிப்பிற்கப்பால் ஆற்றல் குறைவு மிகவும் அதிகமாக இருந்தது, பெரும்பாலான ஆற்றல் 300 மைக்ரோ விநாடியிலேயே கணிசமாகக் குறைந்து விட்டது. இந்த ஆற்றல் மேலும் குறைந்து 11 மைக்ரோ விநாடிகளில் துடிப்பு முழுவதுமே நின்றுவிட்டது. இந்த வரை படங்களின் பொதுவான உருவத்தை எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலில் இரு கூறுகள் இருப்பதாகக் கொண்டு விளக்கலாம். ஒன்று, அடர்மிகு கூறு; மற்றொன்று, விரவலான கூறு ஆகும். அடர்மிகு கூறு சந்திர வட்டத்தின் மையத்தில் உள்ள சமதளப் பரப்புகளில் சைகைகள் எதிரொளிக்கப்படுவதால் உண்டாகும். விரவலான கூறு சந்திரனின் மேற்பரப்பிலுள்ள மேடு பள்ளங்களில் சைகைகள் பட்டு எதிரொளிக்கப்படுவதால் உண்டாகும். இவ்வாறு படத்தில் காட்டியபடி 3·6 செ. மீட்டர், 68 செ. மீட்டர் ஆகிய இரு அலை நீளங்களில் விரவலான கூறு, அடர்மிகு கூறைக் காட்டிலும் அதிகம். வெவ்வேறு அலை நீளங்களில் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் திறன் மாறுவதிலிருந்து சந்திரனின் மேற்பரப்பின் தன்மையை அறியலாம்.

சந்திரனை ஆராயும் இரண்டாவது முறையில் டாப்ளர் விளைவு பயன்படுகிறது. பூமியிலிருந்து சந்திரனை நோக்கும்பொழுது அது பக்கவாட்டிலும் மேலும் கீழும், மெதுவாக அசைவது போலத் தோன்றுகிறது. இதற்கு அசைவு (libration) என்பது பெயர். இவ் விளைவினால் நிலவின் பரப்பிலுள்ள பல்வேறு புள்ளிகள் பூமியை நோக்கியும், பூமியை விட்டு விலகியும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் நகர்கின்றன. இதன் காரணமாக எதிரொளிப்பு நிறமாலையின் அகலம், டாப்ளர் விளைவினால் அதிகரிக்கின்றது. எதிரொளிப்புகளின் ஆற்றல் படத்திலிருந்து சந்திரனின் பரப்பிலுள்ள பல்வேறு புள்ளிகளில் ஆற்றல் சிதறடிக்கப்படுவதை அறியலாம். பெட்டின்ஜில் (Pettengill) என்பவரால் தொலைவு, அதிர்வெண் வரிக் கண்ணோட்டம் (scanning) ஆகியவற்றைக் கொண்டு சந்திரனின் மேற்பரப்பு ராடார் துடிப்புகளைச் சிதறடிக்கும் முறைகளைக் காட்டும் படங்கள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. சந்திரனின் பரப்பில் சம தூரத்திலுள்ள புள்ளிகளைச் சேர்க்கும் கோடுகள் சம அளவு டாப்ளர் விளைவுள்ள கோட்டை இரு புள்ளிகளில் வெட்டுவதால் இத்தகைய படங்கள் தெளிவற்று இருக்கின்றன.

டாப்ளர் அகலத்தையும், எதிரொளிப்புச் சைகையின் செறிவையும் ஒரே சமயத்தில் அளப்பதன் மூலம் சந்திரனின் சுழற்சி வேகத்தையும் கணக்கிடலாம்.

படம் 13·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ள செய்திகளை ஆராய்ந்து ஈவான் சந்திரனின் பரப்பின் பெரும்பகுதி வழவழப்பாகவும், மேடு பள்ளங்கள் இன்றியும் இருக்கவேண்டும் என்றும் முடிவு செய்தார். 68 செ. மீட்டர்கள் இடைவெளியுள்ள புள்ளிகள் சராசரி வாட்டம் $\frac{1}{10}$ ஆகவும் 3·6 செ. மீட்டர் இடைவெளியுள்ள புள்ளிகளின் சராசரி வாட்டம் $\frac{1}{7}$ ஆகவும் இருக்கவேண்டும் என்றும் முடிவு செய்தார். எட்டு விழுக்காடு பகுதியே, 68 செ. மீட்டர் அலை நீளத்திற்கொப்பான பருமனையுடைய அமைப்புகளால் மூடப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும், 14 விழுக்காடு பகுதிகள் 3 6 செ. மீட்டர் அலை நீளத்திற்கொப்பான பருமனையுடைய அமைப்புகளால் மூடப்பட்டிருக்கவேண்டும் என்றும் கூறினர். ஃபிரிக்கர் (Fricker) என்பவரால் பெறப்பட்ட சந்திரனின் ராடார் குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்டு சந்திரனின் பரப்பில் உள்ள பருப்பொருளின் சராசரி மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 2·8 ஆக இருக்க வேண்டும் என்றும் ஈவான்ஸ் கணக்கிட்டார். இம் மதிப்பு ஏறக்குறைய உலர்ந்த மண்ணின் மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலியின் மதிப்பிற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும் என்றும், பாறையின் மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலியின் மதிப்பில் பாதியாகும் என்றும் குறிப்பிட்டார். சந்திரனின் பரப்பு, நுண்துளைகளை (porous) உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்றும், அடர்த்தி, பாறையின் அடர்த்தியின் 40 விழுக்காடு இருக்கும் என்றும் கூறினர்.

**வானியல் அலகு (Astronomical unit)**

நீண்ட நாட்களுக்கு முன்பு ஒளியியல் தொலைநோக்கிகளைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட கோண அளவீடுகள் பூமியின் சுற்றுப் பாதையைப் பற்றி மிகவும் துல்லியமான செய்திகளைத் தந்தன. ஓர் ஆண்டில் பல்வேறு நேரங்களில் விண்மீன்களைப் பொறுத்து, சூரியனின் திசைகளை அளந்து, சூரியனிலிருந்து நமது பூமியின் திசையை அறியலாம். அதே நேரத்தில் சூரியனிலிருந்து பூமியின் சார்புத் தூரங்களும் (relative distances, சூரியனின் தோற்ற விட்டத்திலிருந்து (apparent solar diameter) கணக்கிடப்பட்டன. சூரியனின் தொலைவு அதிகரிக்க, அதிகரிக்க இந்த விட்டம் குறைகிறது. சூரியனின் உண்மையான விட்டத்தின் அளவு தெரியாததால் சூரியனுக்கும், பூமிக்கும் உள்ள சரியான தொலைவைக் கணக்கிட முடியவில்லை.

பல ஆண்டுகளுக்கு முன்பே பூமியின் சுற்றுப் பாதையைப் பொறுத்து பல்வேறு கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகள் துல்லியமாக நிர்ணயிக்கப்பட்டன. இதற்கு முக்கோண முறையைப் பயன் படுத்தினர். கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளை மிகவும் நவீன முறையில், அவைகளின் கோண இருப்பிடம், ஈர்ப்புக் கோட்பாடு ஆகியவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். ஆனால் உண்மையான தூரம் இன்னும் சரியாக அளக்கமுடியாமலே இருக்கிறது. இம் முறைகள் சூரியன், பூமி, மற்றக் கோள்கள் ஆகியவை எந்த நேரத்திலும் இருக்கக்கூடிய இடத்தை ஒரு மில்லியனில் சில பகுதி துல்லியமாகக் காட்டுகின்றன.

சூரியன், பூமி, மற்றக் கோள்கள் ஆகியவற்றுள் எவையேனும் இரண்டிற்கிடையே உள்ள உண்மையான தூரத்தை அளக்க முடியுமானால் சூரியனைப் பொறுத்து, மற்றக் கோள்களின் உண்மை யான தூரத்தைக் காலத்தின் அடிப்படையில் நிர்ணயிக்கலாம். இவ்வாறு உண்மையான தூரத்தை அளக்கின்ற ஒரு முறை ஒளிப் பிறழ்ச்சி (aberration of light) யை அளப்பதன் அடிப்படையில் அமைவதாகும். இதில் பூமி சூரியனைச் சுற்றி வரும்பொழுது தொலைநோக்கியின் பக்க திசை வேகத்தால் (lateral velocity) ஒரு விண்மீனின் பிம்பத்தில் இடப்பெயர்ச்சி நிகழ்கின்றது. இதை அளந்து பூமியின் சுற்றுப் பாதையில் அதன் திசை வேகத்தை நாம் கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையே உள்ள சராசரித் தூரத்தையும் கணக்கிடலாம். இந்த தூரமே வானியல் அலகு (astronomical unit) என்று அழைக்கப்படு கிறது. இதன் அடிப்படையில் மற்றக் கோள்களின் சுற்றுப்பாதை களின் தூரங்கள் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. ஒளியியல் முறைகளில் இந்த வானியல் அலகுக்குப் பெறப்பட்ட மதிப்புகள் 149,419,000 (± 120,000) கிலோ மீட்டர்களிலிருந்து 149,674,000 (± 17,000) கிலோ மீட்டர்கள்வரை மாறுகிறது. இந்த மதிப்புகள் $\frac{2}{1000}$ பங்கு பிழையுடையனவாக உள்ளன. அண்டவெளி, சூரிய குடும்பம் ஆகியவற்றிலுள்ள பொருட்களின் தூரங்கள் வானியல் அலகைப் பொறுத்துள்ளதால் வானியல் அலகிலுள்ள பிழையைக் குறைப்பதற்கான முறையைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டியது அவசிய மாயிற்று. ராடாரைக் கொண்டு தூரங்களைத் துல்லியமாக அளக்கக் கூடுமாதலால் இத்தூரங்களை அளப்பதற்கு ராடாரைப் பயன் படுத்தும்பொழுது பிழைகள் கணிசமான அளவு குறையும்.

1961-ல் அமெரிக்காவில் விக்டர் (Victor), ஸ்டீவன்ஸ் (Stevens), மரான் (Maran) ஆகிய விஞ்ஞானிகளும், இங்கிலாந்தில் தாம்சன் (Thomson) என்ற விஞ்ஞானியும், ரஷ்யாவில் கோட்டல்

நிக்கோவ் (Kotel Nikov) என்ற விஞ்ஞானியும் ஒரே சமயத்தில் வெள்ளி என்ற கோளுக்கு ராடார் சைகைகளை அனுப்பி அதன் தூரத்தை வெற்றிகரமாகக் கணக்கிட்டனர். மேலே கூறப்பட்ட ஐந்து விஞ்ஞானிகளும் வெள்ளியின் தூரத்தின் அடிப்படையில் வானியல் அலகையும் நிர்ணயித்தனர். அமெரிக்கர்கள் கண்ட மதிப்பு 149,597,850 (± 400) கிலோ மீட்டர்களாகும். மற்றவர்கள் பெற்ற மதிப்பும் பெரும்பாலும் இதே அளவுடையதாக இருந்தது. ஒளியியல் முறையில் அளக்கப்பட்டபொழுது வானியல் அலகில் ஏற்பட்ட பிழைகள் ராடார் முறையில் பெரும்பாலும் நீக்கப்பட்டன. பிற்காலத்தில் இந்த மதிப்பில் சிறந்த முன்னேற்றங்கள் பெறப்பட்டன.

வெள்ளியின் பரப்பு பெரும்பாலும் மேகங்களால் சூழப்பட்டிருப்பதால் அதன் சுழற்சி நேரம் தெரியாமலே இருந்தது. பல நூற்றுண்டுகள் தொலைநோக்கிகள் மூலம் வெள்ளியை ஆராய்ந்த போதும்கூட அதன் பரப்பின் தன்மையைப் பற்றி யாதொன்றும் அறியமுடியவில்லை. மாறாக ராடார் சைகைகளைப் பயன்படுத்திய பொழுது அவை மேகங்களை ஊடுருவிச் சென்றதால் எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகள் வெள்ளியின் பரப்பில் அல்லது அதற்குச் சிறிது கீழே எதிரொளிக்கப்பட்டு ராடார் ஏற்பியை வந்தடைந்திருக்க வேண்டும். சந்திரனைப் போலவே இங்கும் வெள்ளியின் சுழற்சி நேரம், அமைப்பு, மின்னியல் தன்மைகள் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.

வெள்ளி ராடார் எதிரொளிப்பில் பெரும்பாலான ஆற்றல் துடிப்பின் முன்னேறும் விளிம்பிலேயே இருக்கிறது. இதிலிருந்து பெரும்பாலான எதிரொளிப்பு, கோளின் அண்மைப் பகுதியிலிருந்து நிகழ்வது புலனாகின்றது. ஈவான்ஸ் கண்ட முடிவுகளிலிருந்து வெள்ளியின் பரப்பு, சந்திரனின் பரப்பைவிட வழவழப்பாக உள்ளது என்று தெரிகிறது. மேலும் வெள்ளியின் பரப்பில் உள்ள பருப்பொருளின் மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 4·1 என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. குவார்ட்ஸ் படிகத்திற்கும் மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 4·1 ஆகும். இதிலிருந்து வெள்ளியின் பரப்பு பெரும்பாலும் பாறைகளால் ஆனது என்று தெரிகிறது.

வெள்ளியின் சுழற்சி நேரத்தை எதிரொளிப்பு நிறமாலையின் டாப்ளர் விளைவிலிருந்து கணக்கிட கோட்டல் நிக்கோவ், ஈவான்ஸ் முதலியோர் முயன்றனர். அவர்களின் ஆராய்ச்சிகள் முற்றுப் பெறவில்லை. நிக்கோவ் கொடுத்த மதிப்பு பத்து நாட்களாகும். ஈவானின் மதிப்பு 115 முதல் 500 நாட்களாகும். 1955-ல் டால்ஃபஸ் (Dollfus) என்பவர் வெள்ளி, சூரியனுக்கு

நேர் முகத்தைக் காண்பித்துக்கொண்டு நகருவதாகக் கூறினர் அப்படியானல் அதன் சுழற்சி நேரம் 225 நாட்களாகும். ஈவான்ஸின் ராடார் மதிப்பு இதிலிருந்து வேறுபட்டு இருக்கவில்லை.

இப்பொழுது ஞாயிறு, திங்கள், செவ்வாய், புதன், வியாழன், வெள்ளி ஆகியவற்றிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புகள் பெறப் பட்டுள்ளன. வியாழனுக்கப்பால் உள்ள கோள்களை (உதாரண மாக சனி) ராடார் மூலம் ஆராய்வது அண்மையில் நடக்கக் கூடிய தல்ல. ராடாரைக் கொண்டு மிக அருகில் உள்ள விண்மீனைக் கூட இதுவரை விளக்கிய முறைகளால் அறிய முடியவில்லை மிகவும் முன்னேற்றமடைந்த ராடார் கருவிகளைப் பயன்படுத்தி, சந்திரன், மற்ற அருகில் உள்ள கோள்கள் ஆகியவற்றைப் பற்றிப் பல புதிய செய்திகளைப் பெற்றாலும் கூட, இவை நாளடைவில் அண்ட வெளி விஞ்ஞானம் முன்னேறும்பொழுது தங்கள் மதிப்பை இழந்துவிடும். இருப்பினும் சூரிய ராடார் வானியல் (solar radar astronomy) இந்த அண்ட வெளி விஞ்ஞான முன்னேற்றங்களால் பாதிக்கப்பட மாட்டாது.

1959-ல் ஷல்மான் (Eshelman) என்பவரால் சூரியனிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புகள் முதன் முதலாகப் பெறப்பட்டன. வெள்ளி யோடு ஒப்பிடும்பொழுது, சூரியன் ஒரு சிறந்த ராடார் இலக்கு அல்ல; ஏனெனில் சூரியனில் ஏற்படும் இரைச்சல் ராடார் சைகை களுடன் குறுக்கிடுகின்றன. மேலும், சைகைகள் சூரியனின் ஒளிவட்டத்தினூடே (solar corona) செல்லும்பொழுது உட்கவரப் படுகின்றன. இருப்பினும் M.I.T. ஆராய்ச்சிச் சாலையில் செய்யப் பட்ட சோதனைகளிலிருந்து சூரியனைப் பற்றிய உபயோகமான செய்திகள் கிடைத்துள்ளன. சூரியனின் ஒளி வட்டத்தில் அயனி களின் அடர்த்தியைப் பற்றியும், சூரியன் வெளிவிடுகின்ற அயனி யாக்கம் அடைந்த மேகங்களின் அமைப்பு, திசைவேகம் ஆகிய வற்றைப் பற்றியும் ராடார் மூலம் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

1962-ம் ஆண்டு, ஜூன் மாதத்தில், புதன் அதனுடைய மிகக் குறைந்த தூரமான 52 மில்லியன் மைல்களில் இருந்தபொழுது கோட்டால் நிக்கோவின் தலைமையில் சில ரஷ்ய விஞ்ஞானிகள் அதை ராடாரைக் கொண்டு வெற்றிகரமாக ஆராய்ந்தனர். ரஷ்யர்கள் பயன்படுத்திய ஆன்டென்னாவில் 53 அடி பரவளையத் தட்டுகள் எட்டு பயன்படுத்தப்பட்டன. அவர்களுடைய பரப்பி யின் திறன் 100 கிலோ வாட்டுக்கும் அதிகமாக இருந்தது. அந்த ராடார் 700 மெகா சுற்றுகளில் இயங்கும்பொழுது புதனின் எதிரொளிப்பு எண் (reflection coefficient) 0·06 ஆக இருந்தது.

இது சந்திரனின் எதிரொளிப்பு எண்ணை ஒத்திருந்தது. எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகள் மிகவும் பலவீனமாக இருந்தபடியால் அவைகளைத் துல்லியமாக அளக்கமுடியவில்லை.

1963-ம் ஆண்டு ஜனவரி மாதத்தில் கலிபோர்னிய ஆராய்ச்சிக் கழகத்தில், விக்டர், ஸ்டீவன்ஸ் ஆகியோர் செவ்வாயுடன் ராடார் மூலம் முதன்முதலாகத் தொடர்பு கொண்டனர். 85 அடி பரவளைய ஆன்டென்ருவைக் கொண்டு 100 கிலோவாட் சைகைகளை 2388 மெகா சுற்றுகளில் அனுப்பினர். 11·1 நிமிடங்களுக்குப் பிறகு, செவ்வாய் அதனுடைய மிகக் குறைந்த தூரமான 62 மில்லியன் மைல்களில் இருந்தபொழுது அனுப்பப்பட்ட ஆற்றலில் $10^{-21}$ மடங்கு திரும்பவும் ஆன்டென்ருவில் எதிரொளிப்பு மூலம் பெறப்பட்டது. தொடக்கத்தில் கிடைத்த பதிவுகளிலிருந்து செவ்வாயின் ராடார் எதிரொளிப்புத் திறன் வெள்ளிக்கும், சந்திரனுக்கும் இடைப்பட்டதாக இருந்தது. செவ்வாய் தனது அச்சைப் பற்றிச் சுழலும்பொழுது ராடார் சைகையை எதிரொளிக்கும் பரப்பின் தன்மையும் மாறுகிறது. இதிலிருந்து செவ்வாய் பரப்பில் பல்வேறு பகுதிகள் பல்வேறு அளவில் கரடுமுரடாக இருக்கவேண்டும் என்பது தெரிகின்றது.

ராடாரைக் கொண்டு எரி மீன்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சி, குறிப்பிடத் தக்க அளவு முன்னேறவில்லை. பூமியில் உள்ள ராடார் நிலையங்களைக் கொண்டு சில நடுத்தரமான சூரியக் கோள்களையும் (asteroids) நாளடைவில் ஆராயலாம். ராடாரை, ராக்கெட்டில் ஏற்றிச்சென்று எல்லாவிதமான சிறு கோள்களையும் ஆராயலாம். வால்மீன்களின் (comets) தலைப் பகுதியிலுள்ள அயனியாக்கம் அடைந்த வாயுக்களிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புகளைப் பெறுவது நிச்சயமாக நிகழக்கூடிய ஒன்ருகும். இவைகளை ஆராய்ந்து விநோதமான விண்வெளிப் பிரயாணிகளைப் பற்றிய பல புதிய செய்திகளையும் பெறலாம். கோள்களிலும், துணைக்கோள்களிலும் ராக்கெட்டுகளைக் கொண்டு ராடார் பேக்கன்களை (Radar becons) நிறுத்தி, கோள்களுக்கிடையே உள்ள தூரங்களை மிகவும் துல்லியமாக அளக்கலாம்.

விண்வெளிக் கலங்களை (space vehicles) கொண்டு விஞ்ஞானிகளையும், ஆய்வுக் கூடங்களையும் வானவெளியில் தூக்கிச் சென்று ஆராயும்பொழுது ராடாரின் முக்கியத்துவம் குறைய நேரிடும். ஆனால் அந்நாள் வரத் தாமதமாகும். இந்த இடைவெளியில் ராடார் மூலம் கிடைக்கின்ற செய்திகள் மனிதன் வானவெளியை வெல்லுவதில் உறுதுணையாக இருக்கும்.

ராடார் வானியலைப் பற்றியும், சந்திரன், சூரியன் மற்ற கோள்கள் ஆகியவற்றைப் பற்றி இதுகாறும் கண்டுள்ள முடிவுகளைப் பற்றியும் சுருக்கமாக இதுவரை கூறப்பட்டது. இவைகளைப் பற்றி விரிவாக இனிவரும் பகுதிகளில் காண்போம். ராடார் வானியல் பற்றி நன்கு அறிவதற்கு ராடாரைப் பற்றியும், எதிர்மின் கதிர் குழாயைப் பற்றியும், அயன மண்டலத்தைப் பற்றியும் சிறிது தெரிந்துகொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

Radio Astronmy — *Piddington J. H.*

Radar and Electronic Navigation — *Sonnenberg G. J.*

# 14. ராடார்

## (Radar)

ராடார் என்ற ஆங்கிலச் சொல் Radio detection and ranging என்பதன் சுருக்கமாகும். ராடார் என்பது ஒரு தனிக் கருவி அல்ல. மனிதக் கண்ணிற்குப் புலனாகாத தொலைவிலுள்ள பொருட்களை அறிந்து அவற்றின் இருப்பிடத்தை நிர்ணயிப்பதற்கான பல்வேறு கருவிகளின் கூட்டு அமைப்பே ராடார் ஆகும். ராடாரின் பணி துல்லியமாகவும், துரிதமாகவும், சாதாரணமாக மனிதப் பார்வையை மறைக்கின்ற இருள், மேகம், மூடுபனி ஆகியவற்றால் பாதிக்கப்படாமலும் நிகழக் கூடியது.

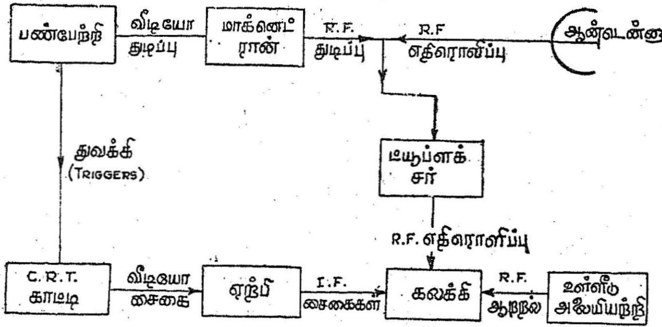
**ராடாரின் தத்துவம்**

ராடார் ஓர் ஆற்றல் மிக்க பரப்பியையும், நுண்ணுணர்வுடைய ஏற்பியையும் உடைய ஒரு தன்னிறைவு பெற்ற கருவிகளின் தொகுதியாகும். ராடார் பரப்பியிலிருந்து மிகக் குறுகிய கால ஆற்றல் மிக்க துடிப்புகள் வான வெளியில் அனுப்பப்படுகின்றன. இந்த ரேடியோ ஆற்றல் தொலைவிலுள்ள ஓர் இலக்கால் எதிரொளிக்கப்பட்டு மீண்டும் ராடாரின் ஏற்பியை அடைகின்றது. இவ்வாறு ராடார் பரப்பியிலிருந்து இலக்கை அடைந்து மீண்டும் ராடாரின் ஏற்பியை அடைவதற்கான மொத்த நேரம் இலக்கின் தூரத்தை அறியப் பயன்படுகிறது.

ராடார் துடிப்புகள் குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் அனுப்பப்படுகின்றன. நீண்ட தூரங்களை அளப்பதற்கு $\frac{1}{25}$ வினாடி இடைவெளியும், குறைந்த தூரங்களை அளப்பதற்கு $\frac{1}{5000}$ வினாடி இடைவெளியும் பொதுவாகக் கையாளப்படுகின்றன. இவ்வாறு துடிப்புகளை அனுப்புவதற்கு ராடார் பரப்பி ஒரு மைக்ரோ வினாடி இயங்கி, $\frac{1}{25}$ வினாடி செயலற்று நின்றுவிடுகின்றது. இவ்வாறு துடிப்புகள் குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணில் வெளியே அனுப்பப்படுகின்றன. இதற்குத் துடிப்புத் திருப்ப அதிர்வெண் (pulse repetition frequency) என்பது பெயர்.

**ராடாரின் அமைப்பு**

அடிப்படைத் துடிப்பு ராடார் அணியின் அமைப்புத் திட்டப் படம் 14 1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.




படம் 14·1.

ஒரு துடிப்புப் பரப்பியின் திட்டப் படம்

ராடார் செயலுறும் முறையைக் கீழ்க் கண்டவாறு விளக்கலாம்.

(i) ஒரு மைக்ரோ அலை அலையியற்றிக்கு (micro wave oscillator), பண்பேற்றியினுல் (modulator), ஒரு வினடிக்கு நூற்றுக் கணக்கான திருப்ப அதிர்வெண்ணையுடைய பெரிய வீடியோ துடிப்புகள் (large vedeo pulse) அளிக்கப்படுகின்றன.

(ii) இத்தகைய ரேடியோ அதிர்வெண் துடிப்புகள் அதிக மான திசை விளைவையுடைய ஆன்டென்ஞவினுல் வெளியே வீசப் படுகின்றன. அப்பொழுது ரேடியோ அதிர்வெண் திறன் ஒரு குறிப் பிட்ட திசையில் மட்டும் செல்லுமாறு அவை அனுப்பப்படுகின்றன.

(iii) துடிப்புகளை அனுப்புவதற்கும் ஏற்பதற்கும் ஒரே ஆன்டென்ஞவைப் பயன்படுத்துவதால் துடிப்பை வெளியே அனுப்பும் பொழுது ஏர்பியைத் துண்டிப்பதற்கும், துடிப்பைத் திருப்பப் பெறும் பொழுது பரப்பியைத் துண்டிப்பதற்கும் ஒரு 'சுவிட்சு' (switch) பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இதற்கு டியூப்ளச்சர் (duplexer) அல்லது T. R. சுவிட்சு என்பது பெயர். இவ்வாறு ஆன்டென்ஞவை இணைத்தாலும் துண்டித்தாலும் இரு துடிப்பு களுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியில் நிகழ்கின்றது.

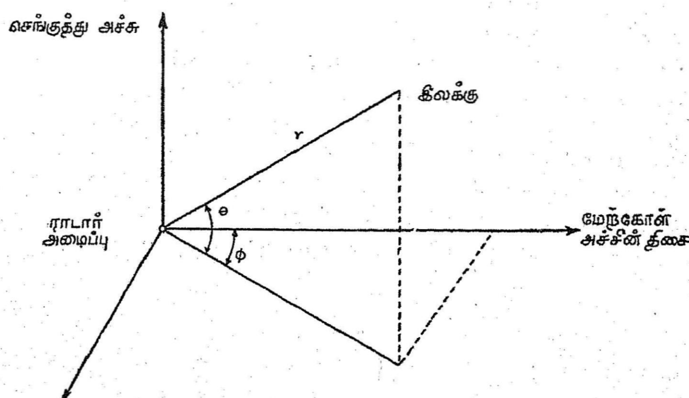
(iv) திருப்பப் பெறப்பட்ட ரேடியோ அதிர்வெண் துடிப்புகள் ஒரு கலப்பிக்கு (mixer) கொடுக்கப்படுகின்றன. கலப்பி அவற்றை

இடைநிலை அதிர்வெண் துடிப்புகளாக (I. F. Pulses) மாற்றுகிறது. பிறகு அவை பெருக்கப்பட்டு வீடியோ சைகைகளைப் பெறுவதற்குப் பயன்படுகின்றன.

(v) சைகைகள் பிறகு எதிர்மின் கதிர்க் குழாய்க்குக் (cathode ray tube) கொடுக்கப்படுகின்றன. பண்பேற்றியிலிருந்து பெறப்பட்ட துவக்கிகளைக் (triggers) கொண்டு காட்டி-விரவுகளை (indicator sweeps) வெளியே அனுப்பப்பட்ட துடிப்புகளுடன் பொறுத்துவது அவசியமாகும்.

(vi) வானத்தின் இலக்குகளுக்காக துருவும் பொழுது திசை விளைவு ஆண்டென்னு சுழற்றப்படுகிறது. இதனால் ஆற்றல் கற்றை (energy beam) பல்வேறு திசைகளிலும் அனுப்பப் படுகின்றது. தொலைவு (range) திசை ஆகியவை 'காட்டி'யில் அறியப்படுகின்றன. இவ்வாறு அறியும் முறையை நிலப்படத்தில் இடங்காட்டி (P. P. I. Plan position indicator) என்று அழைக் கின்றனர்.

படம் 14·2-ல் காட்டியவாறு இலக்கின் திசை இரு கோணங்களில் அறியப்படுகிறது. அவைகளில் ஒன்று திசைச்




**படம் 14·2.**

இலக்கின் திசையை அறிதல்

சார்புக் கோணம் (azimuth), அதாவது, மேற் கோளாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ள திசையுடன் (reference direction) ஆர வெக்டரின் (radius vector) வீழ்ச்சி (projection) செய்கின்ற

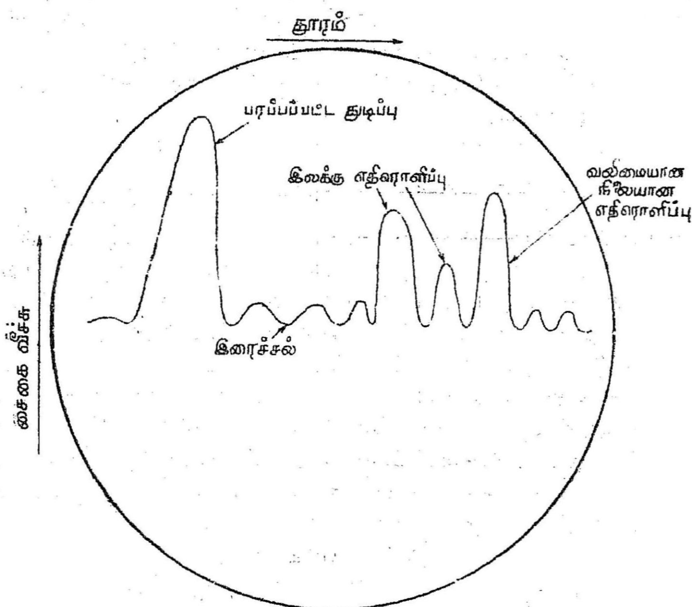
கோணமாகும்; இரண்டாவது, இந்த வீழ்ச்சிக்கும் (projection) இலக்கிலிருந்து ராடாருக்குள்ள தூரமான ஆர வெக்டருக்குமுள்ள ஏற்றக் கோணமாகும். முந்தைய கோணம் படத்தில் $\phi$ என்ற குறியீட்டினாலும், பிந்தைய கோணம் $\theta$ என்ற குறியீட்டினாலும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

### திசைச் சார்புக் கோணத்தையும் தொலைவையும் அளத்தல்

திசைச் சார்புக் கோணத்தையும் தொலைவையும் அளத்தலே காட்டியின் செயலாகும். காட்டிகள் இலக்கின் தோற்றத்தையும் இருப்பிடத்தையும் காட்டுகின்றன. துடிப்பு ராடார்களில் எதிர் மின்கதிர் குழாய் காட்டியாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இது தேவைப்படும் இலக்கின் இருப்பிடத்தையும் மற்ற இலக்குகளிலிருந்து பிரித்தும் அதனுடைய திசைச் சார்புக் கோணம், ஏற்றக் கோணம் ஆகியவற்றையும் காட்டுகிறது. இவைகள் யாவும் C பிரிவு காட்டியில் (Class C indicator) இடம் பெற்றுள்ளன. இப்பொழுது பொதுவாக உபயோகப்படுத்துகின்ற காட்டியின் பிரிவுகளைப் பற்றிச் சுருக்கமாகக் கூறுவோம்.

### A பிரிவு காட்டி

இப் பிரிவு காட்டியில் எதிர்மின் கதிர்க் குழாயின் கற்றை, நேர் கோட்டு ரம்ப வடிவ மின்னழுத்தத்தைப் (linear saw tooth voltage) பயன்படுத்தி, $X$ தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த ரம்ப வடிவ மின்னழுத்தம் வெளியே அனுப்பப்பட்ட துடிப்புகளுடன் இசைவுப் பொறுத்தப்பட (synchronise) வேண்டும். ஏற்பியின் வெளிவரும் அளவு (out put) எதிர் மின் கதிர்க் குழாயின் $Y$ தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படுகின்றது. $X$ தகடுகள், கிடைமட்டத் தகடுகள் (horizontal plates) என்றும், $Y$ தகடுகள், செங்குத்துத் தகடுகள் (veritical plates) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு இலக்கிலிருந்து வரும் சைகைக் கற்றையை மேல் நோக்கியோ அல்லது கீழ் நோக்கியோ விலக்கலாம். பொதுவாக மேல் நோக்கிய விலக்கமே பயன்படுத்தப்படுகிறது. எதிர்மின் கதிர்க் குழாயின் திரையில் ஓர் அளவுகோல் வரையப்பட்டிருக்கும். இதில் தூரங்கள் நேரடியாகக் குறிக்கப் பட்டிருக்கும். இந்த அளவு கோலின் சுழி அளவீடானது வெளியே அனுப்பப்பட்ட துடிப்பிற்குச் சரியாக இருக்கும். அளவு கோலில் அனுப்பப்பட்ட துடிப்பிற்கும், திரும்பப் பெறப்பட்ட துடிப்பிற்கும் இடையில் உள்ள தூரம் இலக்கின் தொலைவைக் காட்டும். இது படம் 14·3-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

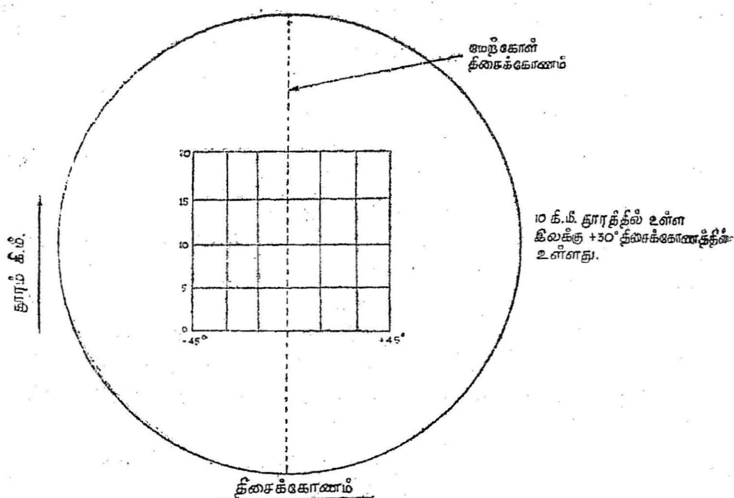



படம் 14.3
A-பிரிவு காட்டி

இந்தப் பிரிவு காட்டியில் இலக்கு உள்ளதா இல்லையா என்பதைப்பற்றியும், அதன் தொலைவைப் பற்றியும் அறியலாமேயொழிய, அதன் சாய்வுநிலை (angular position) யைப் பற்றி அறிய முடியாது. இலக்கின் தன்மையைத் திரும்பப் பெறப்பட்ட சைகையின் செறிவிலிருந்து அறிய முடிவதே இவ்வகைக் காட்டியின் பெரும் பயனாகும்.

**B பிரிவு காட்டி**

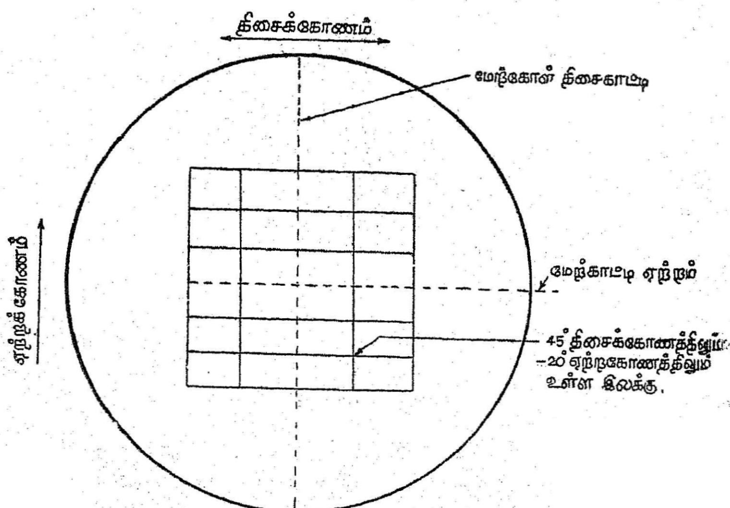
இதில் எதிர்மின் கற்றையின் செறிவு இலக்கைக் காட்டுவதற்குத் தக்கவாறு மாற்றியமைக்கப்படுகிறது. படம் 14·4-ல் காட்டியவாறு செவ்வக ஆயத்தில் (rectangular co-ordinates) ஏற்படும் ஒளிப்புள்ளி (spot of light) இலக்கின் தூரத்தையும் திசைக் கோணத்தையும் காட்டுகிறது. தூரம் செங்குத்தாகவும், திசைக் கோணம் கிடைமட்டமாகவும் அறியப்படுகிறது. இவ்வகைக் காட்டிகள் ராடாரைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தில் உள்ள இலக்குகளை மட்டுமே அறியப் பயன்படுகின்றன.




படம் 14·4
B-பிரிவு காட்டி

## C பிரிவு காட்டி

இவ்வகைக் காட்டி, செறிவு மாற்றத்தால் இலக்கைக் காட்டுகிறது. இலக்கின் கோண இருப்பிடத்தைச் செவ்வக ஆயத்தில்

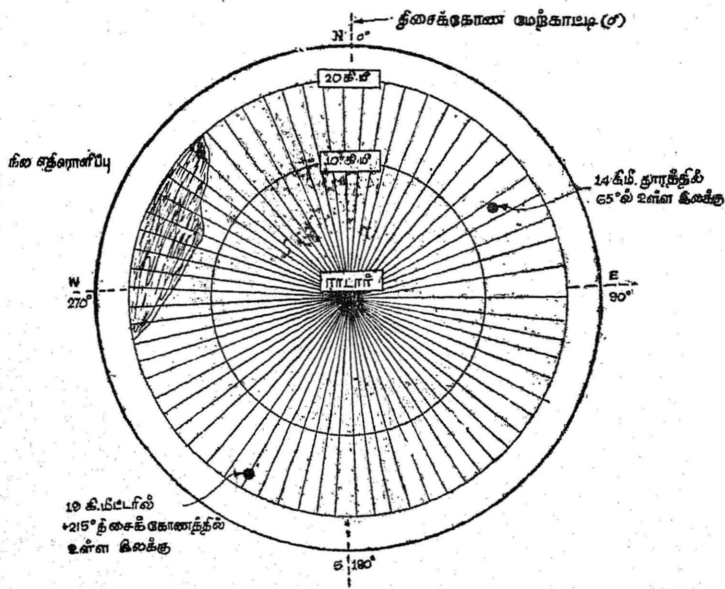



படம் 14.5
C-பிரிவு காட்டி

காட்டுகிறது. இது இலக்கின் தூரத்தைக் காட்டுவதில்லை. எனவே, இலக்கைப்பற்றி முழுச் செய்திகளைப் பெற, A அல்லது B பிரிவுக் காட்டியுடன் பயன்படுத்த வேண்டும். இதன் தத்துவம் படம் 14.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

### நிலப்படத்தில் இடம் காட்டி (Plan position indicator)

இது B பிரிவுக் காட்டியை ஒத்துள்ளது. இது எதிர்மின் கற்றையின் செறிவு மாற்றத்தினால் இலக்கைக் காட்டுகிறது. இது ஒரு வட்டத்தின் முழுப் பகுதியான 360 டிகிரி கோணத்திலும் உள்ள இலக்குகளை ஒரு படத்தைப் போல் காட்டுகிறது. அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட வட்டப் பகுதியில் உள்ள இலக்குகளைச் சிதைவின்றிக் காட்டுகிறது. இவ்வகைக் காட்டியில் ஒரு ரம்பப் பல் அலை (Saw-tooth wave) எதிர்மின் கதிர்க் குழாயின் திரையில்




படம் 14·6.

நிலப்படத்தில் இடங்காட்டி

மையத்திலிருந்து வெளிநோக்கி ஓர் ஆரத்தின் வழியே ஒளிப் பொட்டை நகர்த்துகிறது. திரையின் மையத்திலிருந்து ஒளிப் பொட்டின் தூரம், நிலத்தில் ராடாரிலிருந்து இலக்குக்குள்ள தூரத்தோடு இணையுமாறு ரம்பப் பல் அலை, அனுப்பப்படும் துடிப்புடன்

இசைவுபடுத்தப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஆண்டென்ஞ நோக்கியிருக்கும் திசையுடன் ஒளிப்பொட்டின் கோண விலக்கம் (angular deflection) பொருந்துகிறது. எதிர்மின் கதிர்க் குழாயின் கட்டுப்படுத்தும் மின்வாய் (control electrode) வெட்டு (cut-off) மின்னழுத்தத்தைவிடச் சிறிது அதிகமாக, சார்பு மின்னழுத்தம் (bias) கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே இந்த மின்வாய்க்கு எதிரொளிப்புச் சைகைகளைக் கொடுக்கும்பொழுது ஒளிப்பொட்டின் செறிவு அதிகரித்து இலக்கின் தூரத்தையும், திசைக்கோணத் தையும், கொடுக்கிறது. ஒரு நிலப்படத்தில் இடங்காட்டியின் அமைப்பு படம் 14·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

**ராடாரின் தொழில் நுணுக்கப் பண்புகள்**

இலக்கின் தொலைவை நிர்ணயித்தல். இலக்குகளின் தன்மை, ராடார் கொடுக்கும் அளவீடுகளின் துல்லியம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து ராடாரின் இயங்கும் தன்மையைக் கணிக்கலாம். இவைகள் ராடார் தொழிற்படும் அதிர்வெண் (operating frequency), துடிப்பு நேரம் (pulse duration), திருப்புத் தகவு (repetition rate), பரப்பியின் வெளிவரு அளவு, காட்டியின் பிரிவு, உணர்வு நுட்பம் (sensitivity), ஏற்பியின் பட்டை அகலம் (band width of the receiver), ஆன்டென்ஞவின் கதிர் வீச்சமைப்பு (radiation pattern of antenna) ஆகியவற்றைப் பொறுத்து இருக்கும்.

பெரும்பாலான துடிப்பு ராடார்கள் 1000 மெகா சுற்றுகள்/ விஞடி-க்கும் அதிகமான அதிர்வெண்களிலேயே இயங்குகின்றன. இவ்வளவு அதிகமான அதிர்வெண்களைப் பயன்படுத்துவதால் கீழ்க்காணும் நன்மைகள் ஏற்படுகின்றன.

(i) ஒரு சிறிய ஆன்டென்ஞ அமைப்பைக் கொண்டு வெகு உயர்ந்த அதிர்வெண்களில் கூர்மையான நன்ருக உருவாக்கப்பட்ட கற்றைகளைப் பெறலாம்.

(ii) அதிர்வெண் அதிகமாக அதிகமாக, அனுப்பப்படும் துடிப்பு நேரம் குறைவாகும். இதனுல் துடிப்புகளை நன்கு பகுத்தறிய முடியும்.

வெகு உயர் அதிர்வெண்களைப் பயன்படுத்துவதால் கீழ்க் கண்ட இடையூறுகளும் நிகழ்கின்றன :

(i) அதிர்வெண்ணுடன் இரைச்சல் அதிகரிக்கின்றது.

(ii) அதிர்வெண் அதிகரிக்கும் பொழுது பரப்பியில் ஏற்படும் ஆற்றல் குறைகிறது.

இலக்குகளை நன்ருகப் பகுத்தறிவதற்குக் குறைந்த நேரத் துடிப்புகளையே குறுகியக் கற்றை அமைப்பில் பயன்படுத்த வேண்டும். சிறந்த பகு திறனைப் பெறுவதற்குத் துடிப்பு நேரம் ஒரு மைக்ரோ விஞடியாகவோ அல்லது அதற்குக் குறைவாகவோ இருக்க வேண்டும். பொதுவாக ராடாரில் பயன்படுத்தப்படுகின்ற துடிப்பு அகலம் (pulse width), 0·2 மைக்ரோ விஞடியிலிருந்து 30 மைக்ரோ விஞடிகள் வரை உள்ளது.

துடிப்புத் திருப்ப நேரம் மிகவும் குறைவாக இருக்க வேண்டும். ஏனெனில் ராடாரிலிருந்து தொலைவில் உள்ள இலக்கை அடைவதற்கு ஆகும் நேரம் அடுத்தடுத்த துடிப்புகளுக்கிடையேயுள்ள நேரத்தைவிட அதிகமாக இருக்கக்கூடாது. பொதுவாக ராடாரில் பயன்படுத்தப்படுகின்ற துடிப்புத் திருப்ப அதிர்வெண்கள் 350-லிருந்து 10,000 சுற்றுகள் வரை மாறுகின்றன. குறுகிய தூர ராடார்கள் உயர் துடிப்புத் திருப்ப அதிர்வெண்களைப் பயன் படுத்துகின்றன.

நூற்றுக்கணக்கான மைல்கள் தொலைவில் உள்ள இலக்குகளை அறிவதற்குப் பரப்பியின் வெளிவரு திறனின் உச்ச மதிப்பு ஒரு மெகா வாட்டை விட அதிகமாயிருக்க வேண்டும். குறிப்பிட்ட ஒரு ராடாருக்குப் பரப்பியின் திறன் அது அறியவேண்டிய மிக அதிகத் தொலைவில் உள்ள இலக்கைப் பொறுத்து நிர்ணயிக்கப் படுகின்றது.

ஒரு ராடாரின் பெரும தூரம் பரப்பப்படும் துடிப்பின் ஆற்றல் அளவையும், ஏற்பியின் உணர்வு நுட்பத்தையும் பொறுத்து அமைகின்றது. சிறந்த உணர்வு நுட்பத்திற்கு, ஏற்பியில் உண்டாகின்ற தேவையற்ற இரைச்சல்களைக் குறைக்க வேண்டும்.

### ராடாரின் பெருமதூரம்

இப்பொழுது ராடரின் தூரத்திற்கான ஒரு சமன்பாட்டைக் காண்போம்.

$d$ = இலக்கின் தொலைவு.

$S$ = இலக்கின் ராடார் பரப்பு.

$P_t$ = பரப்பியிலிருந்து அனுப்பப்பட்ட திறன்.

$P_r$ = ஏற்பியின் ஆன்டென்ஞவில் பெறப்பட்ட எதிரொளிப்புத் திறன்.

$G_t$ = பரப்பி ஆன்டென்ஞவின் திறன் இலாபம்.

$G_r$ = ஏற்பி ஆன்டென்னுவின் திறன் இலாபம்.

$\lambda$ = அலை நீளம்.

$A_0$ = ஏற்பி ஆன்டென்னுவின் பிடிப்புப் பரப்பு (Capture area of receiving antenna)

$A$ = ஏற்பி ஆன்டென்னுவின் துளைப்பரப்பு (aperture area)

$\frac{A_0}{A} = K$ [மாறிலி இதன் மதிப்பு பரவளைய ஆன்டென்னுவிற்கு 0·5-ம், பாய் வடிவ (mattress) ஆன்டென்னுவிற்கு 0·9-ம் ஆகும் ]

$d$ ஆரமுள்ள கோளத்தின் பரப்பு $= 4\pi d^2$

கற்றையின் திசையில் பரப்பியின் திறன் $= P_t G_t$

ஆகவே, இலக்கின் ஓரலகுப் பரப்பில் திறன் $= \frac{P_t G_t}{4\pi d^2}$ ... (1)

இந்த ஆற்றல் இலக்கில் மோதுகிறது. அதில் ஒரு பகுதி ராடார் ஆன்டென்னுவின் திசையில் சிதறடிக்கப்படுகிறது. ஏற்பியின் ஓரலகுப் பரப்பில் எதிரொளிக்கப்படும் திறன்,

$$= \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \times S \times \frac{1}{4\pi d^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

எனவே ஏற்பிக்குக் கொடுக்கப்பட்ட மொத்த ஆற்றல்,

$P_r$ = ஓரலகுப் பரப்பில் எதிரொளிப்புத் திறன் × பிடிப்புப் பரப்பு (Capture area)

$$= \frac{P_t G_t}{(4\pi d^2)^2} \times S \times A_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

ஏற்பி ஆன்டென்னுவின் இலாபம் (gain)

$$G_r = \frac{4\pi A_0}{\lambda^2}$$

$$= \frac{4\pi KA}{\lambda^2} \quad \left(\text{ஏனெனில் } K = \frac{A_0}{A}\right) \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

பரப்புதல், ஏற்றல் ஆகிய இரண்டிற்கும் ஒரே ஆண்டென்னுவைப் பயன்படுத்துவதால்,

$$G_r = G_t$$

எனவே, சமன்பாடு (3) ஐ

$$P_r = \frac{P_t\, G_r}{(4\pi d^2)^2} \cdot S \cdot A_0$$ என்று எழுதலாம்.

$G_r$, $A_0$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்யும் பொழுது

$$P_r = \frac{P_t \cdot \frac{4\pi KA}{\lambda^2} \cdot S \cdot KA}{(4\pi d^2)^2}$$

$$P_r = \frac{P_t\, K^2\, A^2 \cdot S}{4\pi\, d^4\, \lambda^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

ஏற்பியினுல் அறியக் கூடிய மிகக் குறைந்த அளவு ஆற்றலை ($P_r$) சிறுமம் என்று குறிப்பிட்டால், ராடாரின் தொலைவு, அதாவது ராடாரின் பெரும தூரம் $d$.

$$d_{\text{பெருமம்}} = \left[\frac{P_t\, K^2\, A^2\, S}{4\pi\, \lambda^2\, (P_r)_{\text{சிறுமம்}}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad \ldots \quad (6)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் இருந்து ராடாரின் பெருமத் தூரம், பரப்பியின் உச்சத் திறனின் (peak power) நான்கு மடி மூலத்திற்கு (fourth root) நேர் விகிதத்திலும், ஆன்டென்னு பரட்பின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலும், அலைநீளத்தின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருப்பது தெரிகின்றது. செயலுறு பரப்பு '$S$' பல்வேறு இலக்குகளுக்குப் பல்வேறு மதிப்புகளைப் பெற்றிருக்கும். காட்டாக, பெரிய குண்டு வீசும் விமானங்களுக்கு (bomber), இது 150 சதுர மீட்டர்களாகவும் சிறிய சண்டை விமானங்களுக்கு 10 சதுர மீட்டர்களாகவும், உள்ளது. சிறிய விமானங்களுக்குக் கூட, ராடாரின் பெரும தூரம் பல கிலோ மீட்டர்கள் வரையில் உள்ளது.

**ராடார் பரப்பிகள்** (Radar Transmitting Systems)

600 மெகா சுற்றுகள் வரையில் அதிர்வெண்களைக் கொண்டு இயங்குகின்ற ராடார்களில் ஓர் ஒத்தியைவு நேர் கோட்டு அலையியற்றி (Resonantline oscillator circuit) இணைக்கப்பட்டுள்ள ட்ரையோடு மின்குழாயிலிருந்து திறன் பொதுவாகப் பெறப்படுகிறது. இன்னும் அதிக அதிர்வெண்களில் உச்சத் திறனை உண்டாக்குவதற்குக் குழி மாக்னெட்ரான்கள் (cavity magnetrons) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மாக்னெட்ரான்களுக்குப் பதிலாக உச்சத்திறனை உடைய கிளைஸ்ட்ரான்களையும் (klystron) பயன்

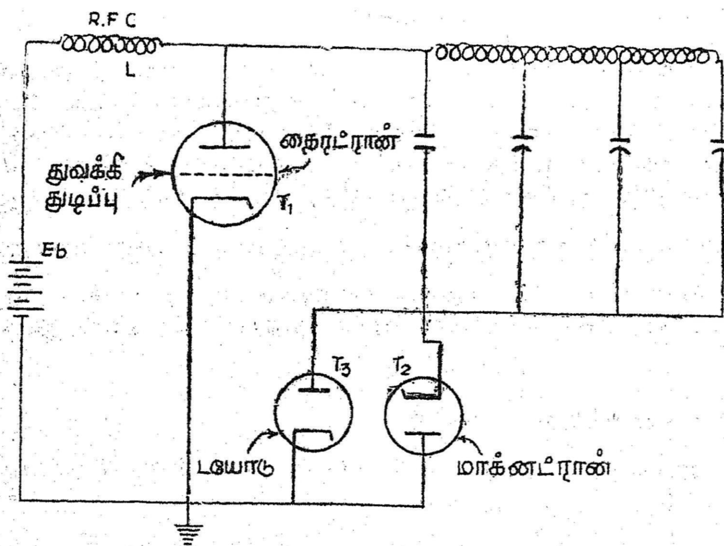
படுத்துகின்றனர். ராடார் பரப்பிச் சுற்றுகளில் தேவைப்படும் நீளத்தையும் வீச்சையும் உடைய துடிப்புகளை உண்டாக்கவும், ராடார் பரப்பியில் திறன் மின் குழாயின் வாய்க்கும் நேர்மின் வாய்க்கும் இடையே கொடுக்கப்படுகின்ற துடிப்புத் திருப்பங்களை உண்டாக்கவும் பயன்படுகின்ற பண்பேற்றிகள் பொதுவாக இரு வகைப்படும். அவையாவன.

1. கோட்டுத் துடிப்பியற்றி (line pulser)

2. கடினக் குழாய் துடிப்பியற்றி (hard tube pulser)

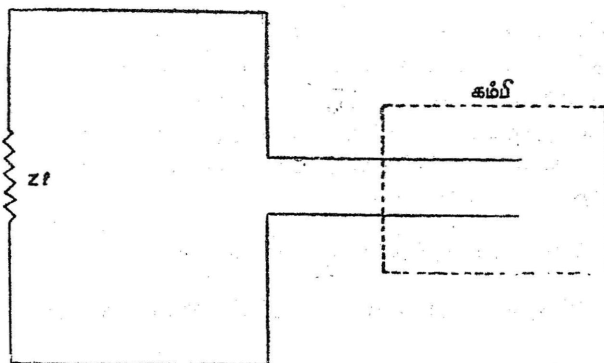
**கோட்டுத் துடிப்பியற்றி**

இதனுடைய அமைப்புப் படம் 14·7(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் தைரட்ரான் (Thyrotron) ஒரு துவக்கி சுவிட்சாக இயங்குகிறது. மாக்னெட்ரானினுல் குறிக்கப்படும் மின் எதிர்ப்பு (load impedance) ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் (transmission line) சிறப்பியல் எதிர்ப்புக்குச் (characteristic impedanace) சமமாகும். இத்தகைய சுற்றின் இணைமாற்றுச் சுற்று (equivalent circuit) படம் 14·7(b)-ல் காட்டப்படுள்ளது.




**படம் 14·7(a).**

நேர்கோட்டுத் துடிப்பியற்றி




படம் 14·7 (b).

மூடப்பட்ட சுவிட்சைக் கொண்ட இணைமாற்றுச் சுற்று

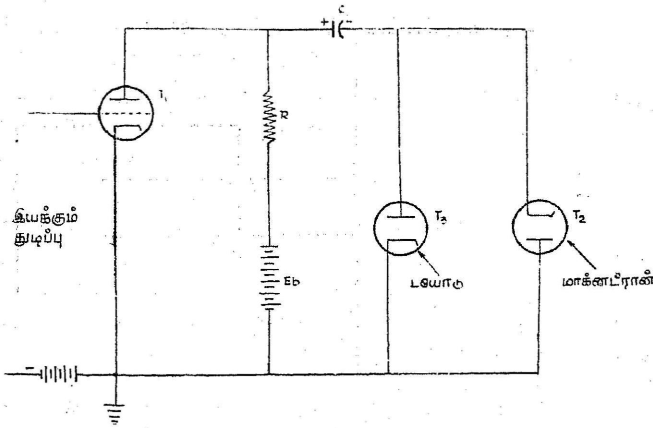
துடிப்புகளுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியில் மின் நிலைமம் (inductance) '$L$' மூலமும், டயோடு மின்குழாய் $T_3$ மூலமும் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி மின்னூட்டப்பட்டு $E_b$ என்ற மின்னழுத்தத்தைப் பெறுகிறது, மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த இந்த மின்னூட்டம் நடைபெறுவது அவசியமாகும்; ஏனெனில் மாக்னெட்ரான் அதனுடைய நேர் மின்வாய் எதிர்க் குறி உடையதாக இருக்கும் பொழுது கடத்துவதில்லை.

துவக்கிச் சுற்றை மூடி, துடிப்புகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு அந்தக் கம்பி $Z_t$ என்ற மின் தடையில் முற்றுப் பெறுகிறது. இந்த மின் தடை அதன் சிறப்பியல்பு மின் எதிர்ப்புக்குச் சமம். கம்பியில் தேக்கி வைக்கப்பட்ட ஆற்றல் பிறகு மின்னெதிர்ப்பின் வழியே இறக்கமடைகிறது. இந்த மின்னிறக்கத்தின் பொழுது மின்னெதிர்ப்பில் உண்டாகும் மின்னழுத்தம் $\frac{E_b}{2}$-க்குச் சமமாகும். இம் முறையில் ஏற்படும் துடிப்புகள் சதுரத் துடிப்புகளாகும். நேர்கோட்டுத் துடிப்பியற்றிகளை அதிக ஆற்றல் மட்டத்தில் இயக்கலாம்.

கூடினக் குழாய் துடிப்பியற்றி

இதனுடைய மின் சுற்று, படம் 14·8(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

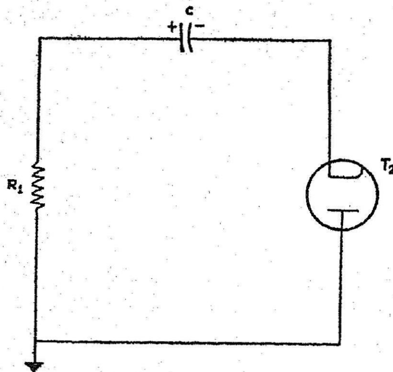
$T_1$ என்ற ட்ரையோடு மின்குழாய் வெட்டு நிலைக்கப்பால் சார்பு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே துடிப்பு




படம் 14·8(a)

கடினக்குழாய் துடிப்பியற்றி — (உண்மைச் சுற்று)

களுக்கு இடைப்பட்ட நேரத்தில் இந்தக் குழாயில் மின்னோட்டம் நிகழ்வதில்லை. $C$ என்ற மின்தேக்கி (capacitor) உயர் மின்தடை $R$ மூலமும் $T_3$ என்ற டயோடு மூலமும் $E_b$ வோல்ட்டுகள் அளவிற்கு மின்னூட்டப்படுகிறது. இப்பொழுது $T_1$-ன் இடைவாய்க்குச் (கிரிடு) (control grid) சில நேர்க்குறித் துடிப்புகள் கொடுக்கப்படுகின்றன. எனவே இடைவாய் சிறிதளவு நேர்குறி மின்னழுத்தம் பெற்று, மிகக் குறைந்த மின் எதிர்ப்பைக் கொடுக்கிறது. இந்த அமைப்பின் இணைமாற்றுச் சுற்று, படம் 14·8(b)-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 14·8(b)

இணைமாற்றுச் சுற்று

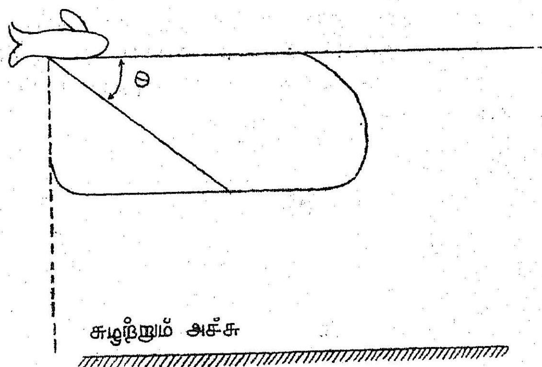
இங்கு C என்ற மின்தேக்கி தொடக்கத்தில் $E_b$ வோல்ட்டுகள் அளவு மின்னூட்டப்பட்டு மின் எதிர்ப்பிற்குக் குறுக்கே நேரடியாக இணைக்கப்படுகிறது. அதாவது அலையியற்றிக்குக் குறுக்கே இணைக்கப்படுகிறது. அதனால் முழு மின்னழுத்தத்தையும் $E_b$ அலையியற்றிக்குக் கொடுக்கிறது, C என்ற மின்தேக்கியின் மதிப்பு கூடிய வரையில் அதிகமாக இருக்கவேண்டும்; ஏனெனில் மின் எதிர்ப்பின் வழியே அது மின்னிறக்கம் அடையும்பொழுது அலையியற்றின் அதிர்வெண், வெளி வரு ஆற்றல் ஆகியவை, இந்த மின் தேக்கியின் மின்னழுத்தத்தால் மாற்றமடையக் கூடாது. இத்தகைய துடிப்பியற்றிகள் உருவில் பெரியனவாகவும் அதிக விலை உள்ளனவாகவும் உள்ளன.

பண்பேற்றியில் துடிப்புத் திருப்ப அதிர்வெண் ஒரு தடை அலையியற்றியைக் (blocking oscillator) கொண்டோ அல்லது ஒரு பல் அதிர்வியற்றியைக் கொண்டோ நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. ஒரு பல் அதிர்வியற்றியை (multi-vibrator) ஒரு சைன் அலையினால் கிளர்ச்சியூட்டி தேவைப்பட்ட பண்புகளை உடைய துடிப்புகளைப் பெறுகிறோம். இதற்கு இந்தச் சைன் அலை தகுந்த முறையில் பகுக்கப்பட்டும் (differenciated), வெட்டப்பட்டும் (clipped) இருக்க வேண்டும்.

**ராடார் ஆன்டென்னாக்கள் (Radar antennas)**

ராடார் தூரத்தை அதிகரிக்க, திசை விளைவு ஆன்டென்னாக்களை ராடார் அணிகளில் எப்பொழுதும் பயன்படுத்துகிறார்கள். இதனால் அருகில் இரு வேறுபட்ட பொருள்களைப் பகுத்தறிய முடிகின்றது. ஆன்டென்னாவிலிருந்து கதிர் வீசப்பட்ட கற்றையின் கூர்மையும், திசை விளைவு அளவும், தேவையைப் பொறுத்துள்ளது. இலக்கின் உயரத்தைக் காட்டாமல், அதன் இடத்தை மட்டும் காட்ட ராடாரை உபயோகிக்கும்பொழுது அதிகத் திசைக் கோணப் பகுப்பைப் கொடுக்க, கிடை மட்டத் திசையில் கூர்மையான கற்றையையும், சிறிது கூர்மை குறைந்த கற்றையைச் செங்குத்துத் திசையிலும் செலுத்த வேண்டும். இலக்கின் உயரம் தேவைப்பட்டால் ஏற்றக் கோணத்தைத் துல்லியமாக அளக்க, செறிவுடைய குறுகிய கற்றையைச் செங்குத்துத் தளத்தில் அனுப்ப வேண்டும். முந்தையது "தரை அடிப்படையில் வானத்தைத் துருவும் ராடார்கள்" எனவும், பிந்தையது "உயரத்தைக் கணிக்கும் ராடார்கள்" எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. விமானங்களைக் கண்டுபிடிக்கும் ராடார்கள் அவைகளுக்கு வழி காட்டவும் பயன்படுகின்றன. இம் முறையை விளக்கும் அமைப்பு, படம் 14·9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இத்தகைய ஆன்டென்னா

அமைப்பின் புலச் செறிவு ‘$\theta$’ என்ற கோணத்தின் ‘கொசிக் கன்ட்’ (cosecant) மதிப்பிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. இது கோணம் ‘$\theta$’ சுழி மதிப்பையும், 90 டிகிரியையும் பெறும் பொழுது மட்டும் பொருந்தாது.




படம் 14.9

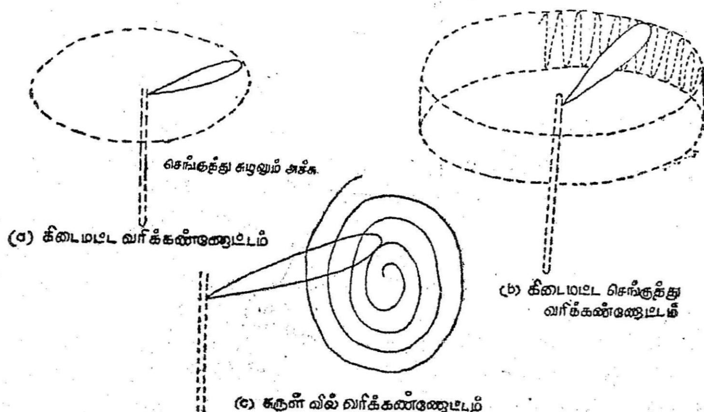
கொசீகன்ட் திசையில்

கதிர் வீசப்பட்ட ஆற்றலின் அளவு $\theta$-ன் கொசிக்கன்ட் மதிப்பின் இருமடிக்கு ($\text{cosecant}^2\theta$) நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. இவ்வாறு ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில் உள்ள குறிப்பிட்ட இலக்கிலிருந்து வருகின்ற எதிரொளிப்புகளின் வலிமை இந்த $\theta$-கோணத்திற்குள் மட்டும் தூரத்தைப் பொறுத்து அமைவதில்லை.

திசை விளைவும், ராடாரில் பயன்படுத்தப்படும் அதிர் வெண்ணைப் பொறுத்தே அமையும். பெரிய ஆன்டென்னுக்களைப் பயன்படுத்திக்கூட, 100-லிருந்து 200 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி வரையிலான குறைந்த அதிர்வெண்களில் ஒரு கூர்மையான குறுகிய கற்றையைப் பெறுவது கடினமாகும். 3000 மெகா சுற்றுகள் அதிர்வெண்ணில் ஒரு சிறிய ஆன்டென்னு கூட திசை விளைவை நன்றாகக் கொடுக்கும். 100-லிருந்து 200 மெகா சுற்றுகளில் இயங்குகின்ற தரை ராடார்கள் பொதுவாக எதிரொளிப்பான்களுடன் கூடிய பாய் வடிவ ஆன்டென்னுவைப் பயன்படுத்துகின்றன. விமான ராடார்களில் 200-லிருந்து 500 மெகா சுற்றுகள் அதிர்வெண் வரையில் யாகி (yogi) ஆன்டென்னுக்களும், 3000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-களிலும் அதற்கு மேலும் பரவளைய எதிரொளிப்பான்களும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. குழப்பம் ஏற்படாமல் இருக்க ராடார் ஆன்டென்னுக்களின் திசை

அமைப்பு இரண்டாம் நிலை லோபுகள் (secondary lobes) இல்லாமல் இருக்க வேண்டும். சிறிய லோபுகளைக் குறைக்கின்ற முறையி லேயே ஆன்டென்னுக்கள் அமைகின்றன.

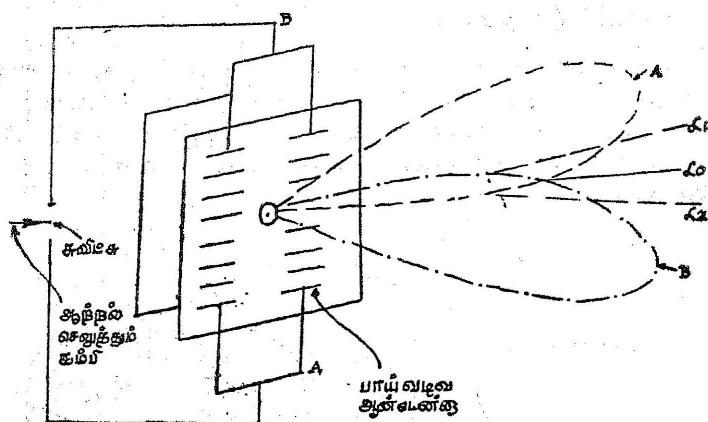
எல்லா வகை ராடார்களிலும் ஆன்டென்னுவிலிருந்து அனுப்பப் படும் கற்றையின் திசையை மாற்றுவதற்காக அவை சுழற்றப் படுகின்றன. இதை ஆன்டென்னு வரிக்கண்ணோட்டம் (antenna scanning) என்று அழைக்கின்றனர். இது படம் 14·10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



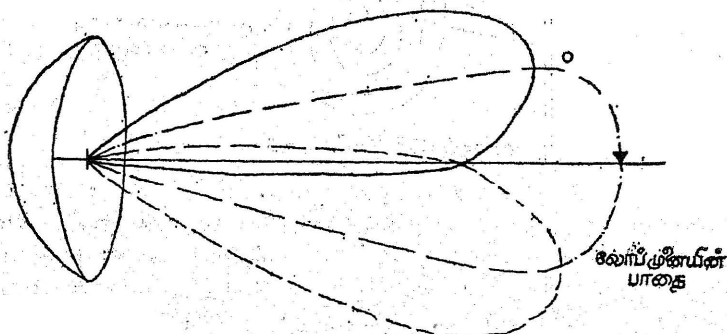

படம் 14·10

வரிக் கண்ணோட்ட முறைகள்

ராடார் இலக்கின் கோணத் திசையை "லோபு சுவிட்சிங்" (lobe switching) என்ற முறையால் துல்லியமாக அறியலாம். இம்முறையில் ஆன்டென்னுவின் திசைப் படம் 14·11-ல் காட்டப் பட்டுள்ள *OA*; *OB* என்ற திசைகளில் மாற்றி மாற்றி விரைவாக இணைக்கப்படுகின்றது. $\alpha_0$ என்ற திசையில் உள்ள ஓர் இலக்கு இந்த இரு நிலைகளுக்கும் சம அளவு எதிரொளிப்புகளைக் கொடுக்கும். $\alpha_1$ அல்லது $\alpha_2$ என்ற திசையில் உள்ள எந்த ஓர் இலக்கும் சமமற்ற எதிரொளிப்புகளைக் கொடுக்கும். இவ்வாறு இரு லோபு நிலைகளுக்குச் சமமான இரு எதிரொளிப்புகளைக் கொடுக்கின்ற $\alpha_0$ என்ற திசை, துல்லியமாக அறியப்பட்டு இலக்கின் கோண இருப்பிடத்தைக் காட்டுகிறது. பாய் வடிவ ஆன்டென்னுக்களில் லோபுகள் இரு முறையில் இணைக்கப் படுகின்றன. இதற்காக ஒரு சுவிட்சைப் பயன்படுத்தி, ஆற்றல்




படம் 14·11.
லோப் சுவிட்சு

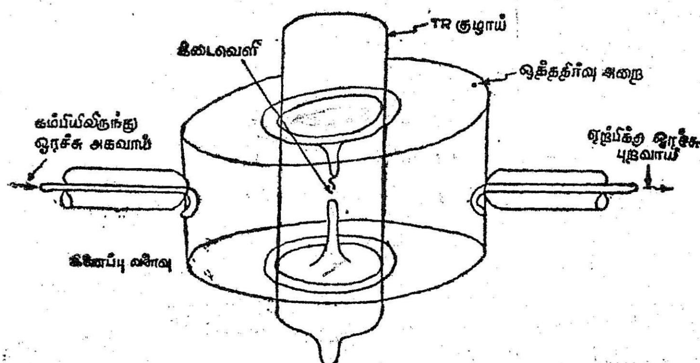



படம் 14·12.
கூம்பு வரிக் கண்ணோட்டம்

செலுத்தும் கம்பி, ஆன்டென்னாவின் ஒவ்வொரு முனையுடனும் மாறி மாறி இணைக்கப்படுகின்றது. பரவளைய ஆன்டென்னாக்களில் கிளர்ச்சியூட்டப்பட்ட ஆன்டென்னாவை குவியப் புள்ளியின் மையத்திலிருந்து சிறிது தள்ளி வைத்து, பிறகு பரவளைய அச்சைப் பற்றித் துடிப்புத் திருப்ப அதிர்வெண்ணை விடச் சிறிது குறைவான விகிதத்தில் அதைச் சுழற்றி லோபு இணைப்பு பெறப்படுகின்றது. இது கூம்பு வரிக் கண்ணோட்டம் (conical scanning) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

### டியூப்ளக்சர் (Duplexer)

எல்லா ராடார்களிலும் ஆற்றலைப் பரப்புவதற்கும் திரும்பப் பெறுவதற்கும் ஒரே ஆன்டென்னுவே பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இது 'டியூப்ளக்சர்' என்ற கருவியினுல் சாத்தியமாகிறது. இதை *T. R.* சுவிட்சு (transmit—receive switch) என்று அழைக்கின்றனர்.

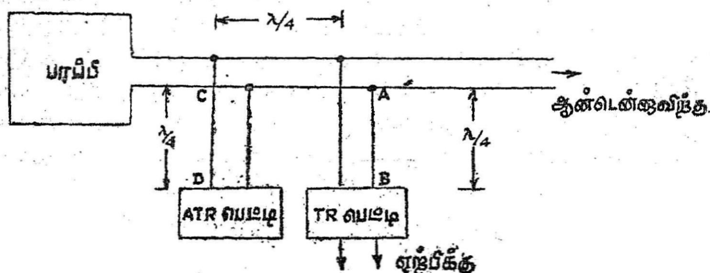



படம் 14·13

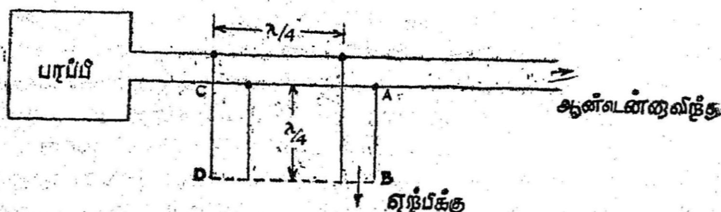
டியூப்ளக்சர்

படம் 14·13-ல் காட்டியுள்ளபடி, *T. R.* சுவிட்சு என்பது இயைவுக் குழிகளை (Resonant cavity) உடையது. இதில் மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தில் வாயு நிரப்பப் பட்டுள்ள குளிர் எதிர் மின்வாய் (cold cathode) குழாய்கள் உள்ளன. பரப்பித் துடிப்புகள் இடைவெளியில் அயனியாக்கத்தை உண்டாக்குகின்றன. இதனுல் *T. R.* பெட்டியிலுள்ள இயைவு சீர்குலைக்கப்படுகிறது. எனவே அக வாயிலிருந்து புற வாய்க்குச் சிறிது ஆற்றல் செலுத்தப்படுகிறது. இந்த நிலையில் *T. R.* பெட்டி (T. R box) குறுக்குச் சுற்று நிலையை (short circuit) அடைந்து ஏற்பியைப் பரப்பி இயங்கும் பொழுது துண்டித்து விடுகிறது. டியூப்ளக்சரின் அமைப்புப் படம் 14·14 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. *AB*, *CD* என்ற கோட்டுப் பகுதிகள் கால் அலைநீளத்தின் ($\lambda/4$) ஒற்றைப் படை எண்ணின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம். பரப்பி இயங்கும் பொழுது *T. R.* பெட்டி குறுக்குச் சுற்றடைந்து பரப்பியிலிருந்து ஆன்டென்னுவுக்கு ஆற்றலை எடுத்துச் செல்லும் கம்பிக்கு மிக அதிக இணைத்தடை மின் எதிர்ப்பைக் (shunt impedance) கொடுக்கின்றது. எனவே துடிப்புகள் நேரடியாக ஆன்டென்னுவிற்குச்

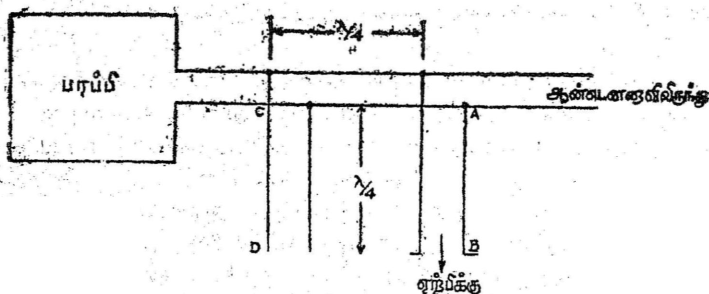
செல்கின்றன; ஏற்பி துண்டிக்கப்படுகிறது. இது படம் 14·14 (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 14·14 (a)
டியூப்ளெக்சர் அமைப்பு




படம் 14·14 (b)
துடிப்பு அனுப்பப்படும்பொழுது இணைமாற்றுச் சுற்று




படம் 14·14 (c)
பரப்பி இயங்காதபொழுது இணைமாற்றுச் சுற்று
டியூப்ளக்சரின் அமைப்புப் படம்

இப்பொழுது பரப்பி இயங்காத நிலையைக் கருதுவோம்; அதாவது துடிப்பின் இறுதியைக் கருதுவோம். அப்பொழுது வாயு உடனே அயனி நீக்கம் அடைகிறது. குழியில் ஒத்தியைவு நடந்து *T. R.* பெட்டிகள் படம் 14·14 (c)-ல் காட்டியவாறு திறந்த சுற்றுகளாக (open circuit) இயங்குகின்றன. *D*-ல் உள்ள திறந்த சுற்றுக் கம்பிக்கு *C*-ல் மிகக் குறைந்த மின் எதிர்ப்பைக் கொடுக்கும். பரப்பியில் *A*-என்ற புள்ளியில் மிக அதிக மின் தடையைக் கொடுக்கும். இதனால் ஆன்டென்னாவை மோதுகின்ற முழு ஆற்றலும் பரப்பிக்குச் செல்லாமல் ஏற்பிக்குச் செல்லுகிறது.

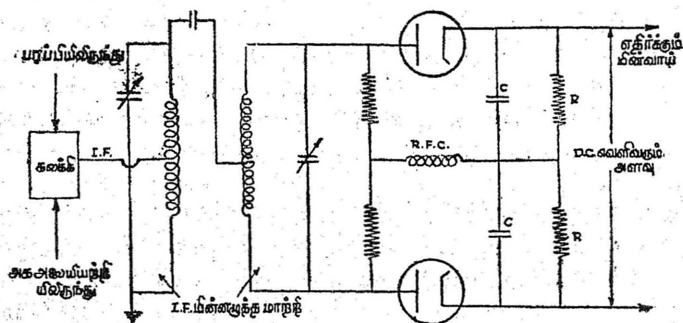
### ராடார் ஏற்பிகள்

ராடார் அமைப்பு முறைகளில், மைக்ரோ அலை சூப்பர் ஹெட்ரோடைன் (micro wave super heterodyne) ஏற்பிகள் உபயோகப்படுத்தப் படுகின்றன. இத்தகைய ஏற்பிகளில் முக்கியமாக இரைச்சல் அளவு குறைந்திருக்க வேண்டும். அத்துடன், தேவையான இடைநிலை அதிர்வெண்ணையும், ராடார் துடிப்புகளை உற்பத்தி செய்யத் தேவையான வீடியோ பட்டை அகலங்களையும் கொண்டுள்ளதாக இருக்க வேண்டும். இடைநிலை அதிர்வெண்ணை உண்டாக்க, ராடார் இயங்கும் அதிர்வெண்ணிற்குத் தகுந்த முறையில், ஓர் உள்ளிட அலையியற்றியைத் (local oscillator) தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும். குறைந்த அதிர்வெண் ராடார்களுக்கு அதிக அடுக்கத்தை உண்டாக்கும் ட்ரையோடு (triode) அலையியற்றியைப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால் சுமார் 2000 மெகா சுற்றுகளில் இயங்குப் ராடார்களுக்கு ஒரு ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரானை (reflex klystron) அடிக்கடிப் பயன்படுத்துகிறார்கள். 30 மெகா சுற்றுகள் அல்லது 60 மெகா சுற்றுகள், ராடார் முறையில் இடைநிலை அதிர்வெண்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

மிகவும் வலிமையற்ற எதிரொளிப்புச் சைகைகளைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும் என்றால் ஏற்பியின் இரைச்சல் அளவு மிகக் குறைந்திருக்க வேண்டும். சுமார் 1000 மெகா சுற்றுகளில் ஆன்டென்னாவிற்கும், கலக்கிக்கும் இடையில் ஒரு ரேடியோ அதிர்வெண் பெருக்கம் செய்யப்படுகிறது. ஆராயப்படும் சைகையின் சிறுமத் திறனைக் குறைக்க ஒரு பக்கத்தில் ஏற்பியின் பட்டை அகலம் முடிந்த அளவு குறுகலாக இருக்க வேண்டும். மறு பக்கத்தில் ராடாரின் பெருமத் திறனைப் பயன்படுத்தி ராடார் துடிப்பின் அமைப்பை மாற்றாமல் இருக்க வேண்டும். இவ்விரண்டும் பூர்த்தியாக்கப்பட்டுவிட்டால் ஏற்பியின் பட்டை அகலம் போதுமானது என்று சொல்லப்படுகிறது.

உதாரணமாக 3000 மெகா சுற்றுகளில் இயங்கும் ராடாரின் இடைநிலை அதிர்வெண் ஒரு சிறிய விழுக்காடு ஆகையால், இடைநிலை அதிர்வெண்ணைத் தானாகப் பரிசோதிக்கும் ஓர் அமைப்பை உபயோகப்படுத்த வேண்டும். இதற்குப் பகுப்பான் சுற்றை (discriminator circuit) உபயோகப்படுத்துகிறார்கள். இச்சுற்றின் அமைப்பு படம் 14·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

உள்ளிட அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணும் பரப்பியிலிருந்து வரும் துடிப்பின் அதிர்வெண்ணும் ஒரு தனிப்பட்ட கலக்கியால் (mixer) கலக்கப்பட்டு ஓர் இடைநிலை அதிர்வெண்ணை வெளி வெளிவிடுகிறது. இந்த இடைநிலை அதிர்வெண்ணைப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள முறையில் ஒரு பகுத்துக் காட்டும் சுற்றுக்குக்




படம் 14-15.

இடைநிலை அதிர்வெண்ணைத் தானாகக் கட்டுப்படுத்தும் சுற்று.

கொடுக்கப்படுகிறது. படித்தர இடைநிலை அதிர்வெண் மதிப்பு, பகுப்பானின் மைய அதிர் வெண்ணிற்குச் சமமாக இருந்தால், சரியான உள்ளிட அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணிற்கு, இச் சுற்றினால் உண்டாக்கப்படும் நேர் திசை மின்னழுத்த அளவு (d. c. out put) சுழியாகும். அவ்வாறன்றி, உள்ளிட அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணில் மாற்றம் இருந்தால், இந்த அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணிற்கும், துடிப்பு அதிர்வெண்ணிற்கும் உள்ள வேறுபாடு, ஒரு வேறுபட்ட அதிர் வெண்ணைக்கொடுக்கும். இதனால் பகுப்பான் ஒரு நேர்த் திசை மின்னழுத்த அளவைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த நேர்த் திசை மின்னழுத்த அளவை, கிளைஸ்ட்ரானின் எதிர்க்கும் மின்வாய்க்குக் கொடுத்தால், அதிர்வெண் சரியான முறையில் மாற்றியமைக்கப்படுகிறது. பரப்பியின் இரு துடிப்பு

களுக்கு இடையே உள்ள நேரத்தில் உள்ளிட அலையியற்றியின் அதிர்வெண் மாறுகிறது. பகுப்பான் வெளிவரும் சுற்றின் நேர மாறிலி (time constant) வெளிவரும் மின்னழுத்தத்தை மாருமல் வைத்திருப்பதற்காக மிகவும் அதிகமாக இருக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் உள்ளீடு அலையியற்றியில் அதிர்வெண் மாற்றங்கள் இடைநிலை அதிர்வெண் பெருக்கியின் பட்டை அகலத்தை விடக் கணிசமான அளவு குறைவாக இருக்கும்

ராடாரில் 'காட்டி' (indicator unit) ஓர் எதிர்மின் கதிர்க் குழாயாகும். இது ராடாரின் வெளிவரு மின்னழுத்தத்தின் விளைவைத் திரையில் கண்ணுல் நாம் பார்க்கக் கூடிய முறையில் காட்டுகிறது. இதில் இரு முறைகள் உள்ளன. ஒன்று விலக்க மாற்ற முறை (deflection modulated presentation); மற்ருென்று செறிவு மாற்ற முறை (intensity modulated presentation). *A* பிரிவு காட்டியில் விலக்க மாற்ற முறையும், *B*, *C* பிரிவுக் காட்டிகளில் செறிவு மாற்ற முறையும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ராடாரின் முக்கியப் பணி, இலக்கின் தொலைவை அறிவதேயாகையால், எல்லா வகை ராடார்களிலும் பொதுவாக எல்லா வகைக் காட்டிகளும் இருக்கும்.

இதுகாறும் ராடாரைப் பற்றிச் சுருக்கமாகக் கூறப்பட்டது. இந்த ராடார் இயங்கும் விதத்தில், குறிப்பாக அதிர்வெண்களிலும் பட்டை அகலங்களிலும், ஆன்டென்ருக்களிலும் வியத்தகு மாறுதல்களைச் செய்து, ராடாரைக் கொண்டு விண்மீன்களையும், கோள்களையும், துணைக் கோள்களையும் ஆராய்கின்றனர். ராடாரைக் கொண்டு வானிலை ஆராய்ச்சிகள் பெரும்பாலும் சூரிய குடும்பத்தைப் பற்றியே நிகழ்ந்துள்ளன. இனி வரும் பகுதிகளில் கோள்களைச் சுற்றியுள்ள வளி மண்டலங்கள் வழியாகவும், கோள்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரங்களிலும் மிகவும் பலவீனமான சைகைகளை ராடாரைக் கொண்டு அறிவதைப் பற்றியும், கோள்களின் பரப்புத் தன்மையைப் பற்றியும், கோள்களின் சுழற்சியைப் பற்றியும் காண்போம். வானியலில் பயன்படுகின்ற ராடார்கள் அதிகமான அளவு திறனில் இயங்க வேண்டும்.

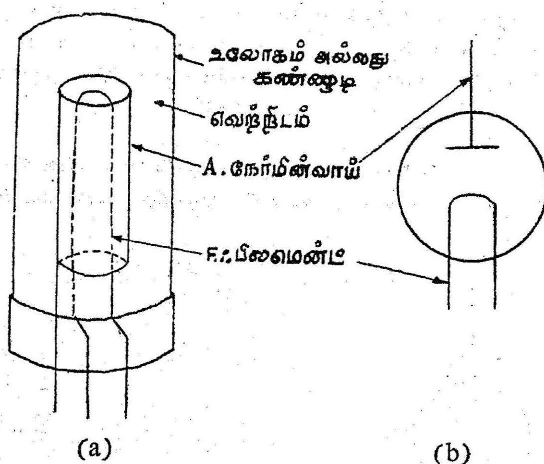
## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Hand Book of Electronics — *By Gupta and Kumar.*
2. Electronics and Radio Engineering — *By F. E. Terman.*
3. Radar — *By R. S. H. Bohldwig.*

# 15. மின்குழாய்கள்

## (Electron Tubes)

ரேடியோ, ராடார், தொலைக்காட்சி முதலிய வியத்தகு கண்டு பிடிப்புகளுக்குக் காரணம் மின்குழாய்கள் (electron tubes) அல்லது வெப்ப அயனி வால்வுகள் (thermioric valves) ஆகும். இச்சிறு சாதனம் அற்புதத் திறமை வாய்ந்தது. மின்குழாய்கள் விஞ்ஞானத் தின் தலைசிறந்த கண்டுபிடிப்புகளுள் ஒன்றாகும்.




படம் 15.1.

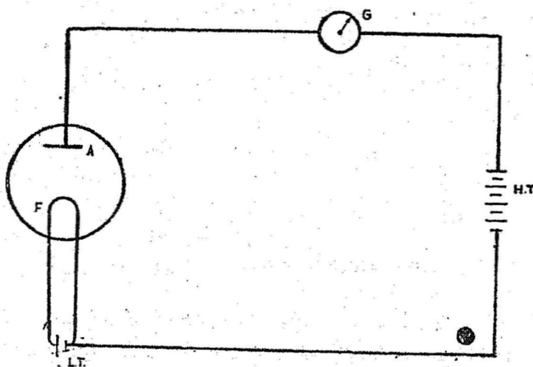
ஃபிளெமிங்கின் மின்குழாயின் அமைப்பு

1882-ம் ஆண்டில் ஜெர்மனியைச் சேர்ந்த எல்ஸ்டரும் (Elster), கைட்டலும் (Geital) ஒரு வெற்றிடக் குழாயில் ஒரு மின் இழையையும், தகட்டையும் பொருத்தினர்; அம் மின்னிழைக்குச் சூடேற்றினர். அப்பொழுது அக்குழாயில் ஒரு திசையில் மட்டுமே மின்னோட்டம் செல்வதைக் கண்டனர். ஆனால் என்ன காரணத்

தாலோ அவர்கள் தங்கள் ஆராய்ச்சியை மேற்கொண்டுத் தொடர வில்லை. பின்னர் 1883 ஆம் ஆண்டில் தாமஸ் ஆல்வா எடிசன் தாம் கண்டுபிடித்த மின் விளக்கினுள் ஒரு தகட்டைப் பொருத்தி அதற்கு நேர் மின்னூட்டம் கொடுத்தார். அப்பொழுது மின்னிழைக்கும் தகட்டிற்குமிடையே ஒரு மின்னோட்டம் பாய்ந்தது. தகட்டிற்கு எதிர் மின்னூட்டம் கொடுத்தபொழுது, மின்னோட்டம் தடைபட்டுவிட்டது. இந்த விளைவிற்கு எடிசன் விளைவு (Edison effect) என்று பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. ஆனால் அவரும் தமது ஆராய்ச்சியைத் தொடரவில்லை. பிறகு 1909-ல் ஃபிளெமிங் (Fleming) என்ற விஞ்ஞானி முதல் மின்குழாயைக் கண்டு பிடித்தார். அதன் அமைப்பு முன் பக்கத்தில் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.

ஒரு கண்ணாடி அல்லது உலோகக் குழாயினுள் *F* என்ற ஒரு உலோகக் கம்பி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதற்கு ஃபிலமென்ட் (filament) என்பது பெயர். அதைச் சுற்றித் தொடாமல் குழாய் வடிவில் *A* என்ற ஓர் உலோகத் தகடு வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குழாயினுள் உள்ள காற்று நீக்கப்பட்டுள்ளது. படம் 15·1-b-ல் இக்குழாய் குறியீட்டு முறையில் காட்டப்பட்டுள்ளது. *A* என்ற உலோகத் தகட்டிற்கு நேர் மின்வாய் (Anode) என்பது பெயர். இந்த மின்குழாய் வேலை செய்யும் விதத்தை இப்பொழுது விளக்கு வோம்.

படம் 15.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள மின் சுற்றைக் கவனிக்கவும், படத்தில் *L. T.* என்ற மின்கல அடுக்கு (low tension battery)




படம் 15·2

டயோடு மின் சுற்று

ஃபிலமென்டைச் சூடாக்கப் பயன்படுகிறது. *G* என்பது ஒரு கால்வனு மீட்டர் (Galvanometer). *H. T.* என்பது ஓர் உயர் அழுத்த மின்கல அடுக்கு (high tension battery) *H. T.*-ன் நேர் மின்வாய் கால்வனு மீட்டர் வழியாக *A*-யுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனுல் *A* நேர் மின்னழுத்தம் பெறுகின்றது. *L. T.* என்ற மின்கல அடுக்கினுல் *F* என்ற ஃபிலமென்டைச் சூடாக்கும் பொழுது அதிலுள்ள புறப்பணி எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுகின்றன. இதற்கு வெப்ப மின் துகள் வெளியீடு (Thermonic emission) என்பது பெயர். இவ்விளைவை முதன் முதலில் ரிச்சர்டுசன் (Richardson) என்ற விஞ்ஞானி கண்டுபிடித்தார்.

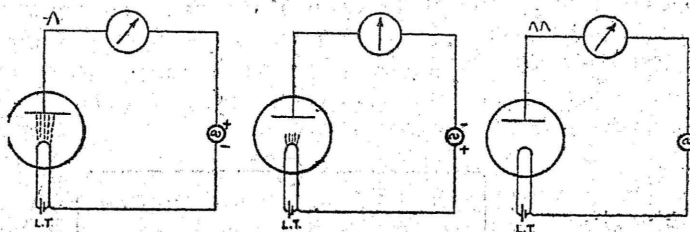
*L.T* மின்கல அடுக்கிலிருந்து வெளிக் கிளம்பும் எலெக்ட்ரான்கள் குழாய்க்குள் நிறைந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் மேகத்தை (electron cloud) உருவாக்குகின்றன. இம் மேகம் ஃபிலமென்டிலிருந்து மேன்மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவருவதைத் தடுத்துவிடுகிறது. இப்பொழுது *A* ஐ *H.T.*-ன் உதவியால் நேர்மின் அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தினுல் எலெக்ட்ரான் மேகத்திலிருந்து சில எலெக்ட்ரான்கள் *A* ஐ நோக்கிச் செல்லும். ஆகவே ஃபிலமென்டிலிருந்து மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் வெளிவரும். இவ்வாறு எலெக்ட்ரான்கள் வெளிப்படுவதால் ஃபிலமென்டில் உண்டாகும் எலெக்ட்ரான் குறைவை நீக்க *H.T*-ன் எதிர்மின்வாயிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் ஃபிலமென்டுக்கு வருகின்றன. ஃபிலமென்டிலிருந்து வெளியேறிய எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாயினுல் ஈர்க்கப்பட்டு *H.T*-ன் நேர் மின்வாய்க்குச் செல்லுகின்றன. இவ்வாறு நேர் மின்வாய் நேர் மின்னழுத்தம் பெற்றிருக்கும்பொழுது எலெக்ட்ரான் இயக்கம் நடைபெறுகின்றது.

*H.T* மின்கல அடுக்கின் எதிர் மின்வாயை *A*-யுடன் இணைத்தால் அது எதிர் மின்னழுத்தம் கொண்டதாக ஆகும். எனவே, மின்னேட்டம் ஏற்படாது. இதற்குக் காரணம் மின்குழாயின் நேர் மின்வாய் எலெக்ட்ரான்களை ஒதுக்குவதேயாகும்.

இந்த மின்குழாய் எலெக்ட்ரான்களை ஒரே திசையில்தான் செலுத்தும். *A*-க்குக் கொடுக்கப்படும் நேர் மின்னழுத்தத்தை அதிமாக்கினுலோ அல்லது ஃபிலமென்டை அதிகமாகச் சூடாக்கினுலோ அதிக எலெக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்பட்டு மின்னேட்டம் அதிகரிக்கும். பேரியம் ஆக்ஸைடு (barium oxide) போன்ற இரசாயனக் கலவைகள் பூசப்பட்டுள்ள ஃபிலமென்டுகள் குறைந்த வெப்பநிலையிலும் அதிக எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடும்.

ஃபிலமெண்டைச் சுற்றியுள்ள நேர் மின்வாய் சில சமயம் தகடு (plate) என்றும் கூறப்படும். இது நிக்கல் அல்லது மாலிப்டினம் (Molybdenum) என்ற உலோகத்தாலான குழாய். திறன் மிகுந்த மின்குழாய்களில் நேர் மின்வாய் செப்புத் தகட்டால் செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த மின் குழாயில் ஃபிலமெண்ட் (இதற்கு எதிர் மின்வாய் (cathode) என்றொரு பெயருமுண்டு.) நேர் மின்வாய் ஆகிய இரு உறுப்புகளே இருப்பதால் இதற்கு டயோடு (Diode) என்று ஆங்கிலத்தில் பெயர் கொடுக்கப்பட்டது.

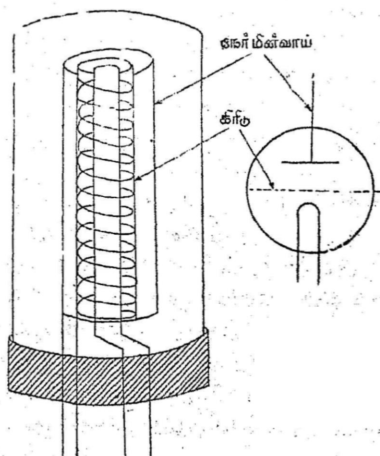
நேர் மின்வாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் *H.T* என்ற மின்கல அடுக்கிற்குப் பதிலாக இரு திசை மின்னோட்டத்தைக் கொடுக்கும் ஓர் இயற்றியை இணைத்தால் நேர் மின்வாய் நேர் மின்னூட்டத்தையும் எதிர் மின்னூட்டத்தையும் மாறி மாறிப் பெறும் நேர் மின்வாய் நேர்மின்னூட்டம் பெறும் பொழுது மட்டுமே எலெக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்படுமாதலால் அவற்றின் இயக்கம் விட்டு விட்டு நிகழும். அதாவது டயோடு இரு திசை மின்னோட்டத்தை ஒரு திசை மின்னோட்டமாக மாற்ற வல்லதாக இருக்கிறது. ஆகையால் டயோடை திசை மாற்றியாகப் பயன்படுத்த முடிகிறது. இதனை டயோடு திருத்தி (Diode rectifier) என்று சொல்லலாம். இதுவே டயோடின் சிறந்த பயனுமாகும். இந்தக் கருத்துகளை படம் 15·3 விளக்குகிறது.




படம் 15·3.
டயோடு திருத்திச் சுற்று

டயோடு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சிறிது காலத்திற்குப் பிறகு லீ டி ஃபாரஸ்ட் (Lee De Forest) என்ற விஞ்ஞானி மின் குழாய்க்குள் மெல்லிய கம்பிச் சுருளாலான மூன்றாவது உறுப்பு ஒன்றைப் பொறுத்தினார். இது ஃபிலமெண்டைத் தொடாமல் குழாய்க்குள் பொறுத்தப்பட்டது. இப்பொழுது மின்குழாய்க்குள் மூன்று உறுப்புகள் உள்ளன. எனவே இந்த மின்குழாய்க்கு ட்ரையோடு (Triode) என்று பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. இந்த மூன்றாவது

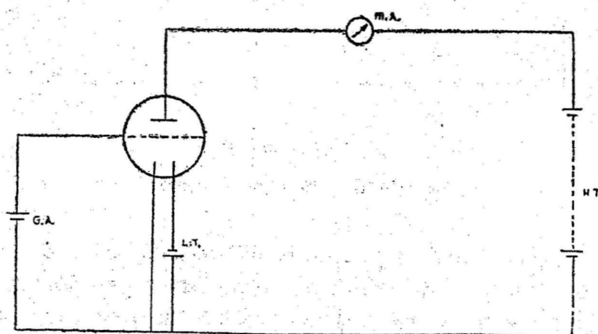
உறுப்பிற்குக் கிரிடு (Grid) என்பது பெயர். இந்த ட்ரையோடு மின் குழாயின் அமைப்பு கீழே உள்ள படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 15·4

ட்ரையோடு மின்குழாய்

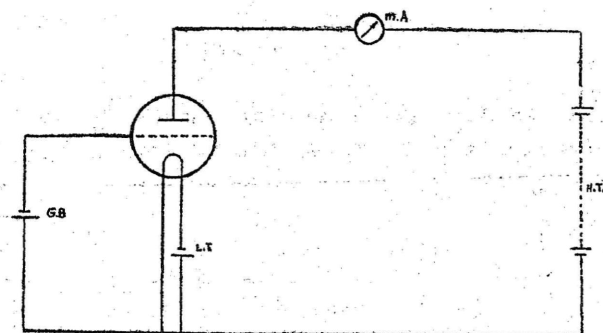
படம் 15·5-ல் காட்டியுள்ளபடி ட்ரையோடு மின்குழாயின் நேர் மின்வாயுடன் $H.\ T.$ என்ற உயர்ந்த மின்னழுத்தமுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கின் நேர் மின்வாயை இணைப்போம்.




படம் 15·5 (a)

ட்ரயோடு மின்குழாய்ச் சுற்று

ஃபிலமென்டுடன் *L. T.* என்ற குறைந்த மின்னழுத்தமுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கையும் கிரிடுடன் *G.B.* என்ற மின்கல அடுக்கையும் இணைப்போம். *G. B.* என்பது (Grid Bias) என்ற வார்த்தைகளின் சுருக்கமாகும். படம் 15·5 (a)-ல் கிரிடு நேர் மின் அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இது கிரிடு மின் அழுத்தம் (Grid voltage) என்று கூறப்படுகிறது. படத்தில் *M. A.* என்பது மில்லியம் மீட்டராகும். ஃபிலமென்ட் சூடாக்கப்படும்பொழுது அதனின்றும் எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேறி ஓர் எலெக்ட்ரான் மேகத்தை உருவாக்குகின்றன. கிரிடு *G. B.* என்ற மின்கல அடுக்கின் உதவியால் நேர் மின்னூட்டம் பெற்று எலெக்ட்ரான்களை ஈர்த்து எலெக்ட்ரான் மேகத்தின் வலிமையைக் குறைக்கிறது. எனவே ஃபிலமென்டிலிருந்து மேன்மேலும் அதிக எலக்ட்ரான்கள் வெளிப்பட்டு நேர் மின்வாயை நோக்கிச் செல்லுகின்றன. எனவே டையோடைக் காட்டிலும் இங்கு மின்னோட்டம் அதிகமாகிறது. மேலும் கிரிடு மின்னழுத்தத்தை *G. B.* மின்கல அடுக்கின் மின் இயக்கு விசையை அதிகரிப்பதன் மூலம், ட்ரையோடு வழியாக ஏற்படும் மின்னோட்டத்தையும் அதிகரிக்கலாம்.

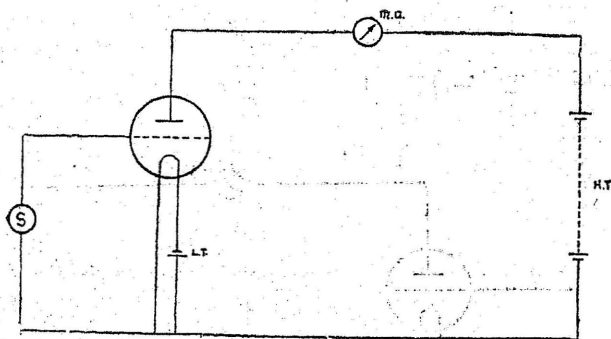



படம் 15 5 (b)

ட்ரையோடு மின் குழாய்ச் சுற்று

படம் 15·5 (b)-ல் காட்டியபடி கிரிடை *G. B.* என்ற மின்கல அடுக்கின் எதிர் மின்வாயுடன் இணைப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த முறையில் கிரிடு எதிர் மின்னழுத்தம் பெறுகின்றது. அதனால் அது ஃபிலமெண்ட் வெளிவிடும் எலெக்ட்ரான்களில் சிலவற்றைத் தடுத்து நிறுத்திவிடும். அப்பொழுது மின்சுற்றில் மின்னோட்டம் குறைந்து விடுகிறது.

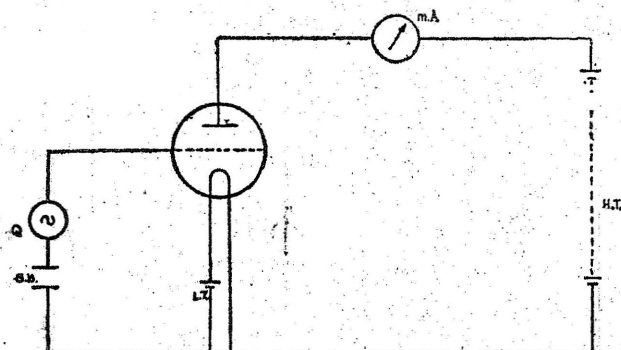
அடுத்து படம் 15·5 (c)-ல் காட்டியபடி ஒரு மாறு திசை மின்னோட்டத்தை மின் குழாயின் கிரிடுடன் இணைப்போம். இப்பொழுது கிரிடு மாறி மாறி நேர் மின்னூட்டத்தையும் எதிர் மின்னூட்டத்தையும் பெறுகின்றது. ஆகவே நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் (ஆனோடு, *H. T.* மின்கல அடுக்கு, ஃபிலமென்ட் ஆகியவை அடங்கிய சுற்று) மின்னோட்டம் கூடியும் குறைந்தும், ஆனால் ஒரே திசையில் செல்லும். அதாவது கிரிடு நேர் மின்னழுத்தம் பெற்றிருக்கும் பொழுது சுற்றில் மின்னோட்டம் குறைந்தும் இருக்கும். ஆகவே கிரிடுச் சுற்றில் ஒரு மாறு திசை மின்னோட்டத்தைப் புகுத்தும் பொழுது. அது வலிமை மாறும் ஒரே திசை மின்னோட்டத்தை (varying current) நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் உருவாக்குகிறது. எனவே ட்ரையோடையும் திசை மாற்றியாகப் பயன்படுத்தலாம் என்பது புலனாகின்றது.




படம் 15·5 (c)
ட்ரையோடுச் சுற்றில் மாறுதிசை மின்னோட்டம்

கிரிடுடன் ஒரு மாறு திசை மின்னோட்டத்தைக் கொடுக்கும் கருவி ஒன்றினை இணைப்பதால், அது மாறி மாறி நேர் மின்னூட்டத்தையும் பெறும் என்று முன்னர் கூறினோம். ஆனால் கிரிடு நேர் மின்னூட்டம் பெறும்படி சாதாரணமாக விடுவதில்லை. ஏனெனில் கிரிடும் எலெக்ட்ரான்களை ஈர்த்துக் கொள்ளும். ஆகவே பொதுவாகக் கிரிடுக்கும் எதிர் மின்னூட்டத்தைக் கொடுத்து (படம் 15·6) அதன் அளவைக் கூட்டியும் குறைத்தும் கிரிடுச் சுற்றில் மாறுதிசை மின்னோட்டத்துடன், ஒரு நிலையான ஒரு திசை மின்னோட்டத்தையும் செலுத்துகிறோம். இதற்கு மின் குழாயின் கிரிடுச் சுற்றில் குறைந்த அழுத்தத்தைக் கொடுக்கக் கூடிய ஒரு மின்கல அடுக்கை இணைக்கிறோம். இதை இணைக்கும் பொழுது மின்

கல அடுக்கின் எதிர் மின்வாய் மின் குழாயின் கிரிடுடன் இணைக்கப்படல் வேண்டும். இப்பொழுது கிரிடுச் சுற்றில் மாறு திசை மின்னழுத்தம், ஒரு திசை மின்னழுத்தம் ஆக இரு மின்னழுத்தங்கள் செயல்படுகின்றன. இந்த அமைப்புகளையே படம் 15·6. காட்டுகிறது. *M. A.* என்பது வழக்கமாகக் குறிக்கப்படும் கால்வனுமீட்டராகும். படத்தில் *G. B.* என்பது 4 வோல்ட் மின்னழுத்தம் கொடுக்கக்கூடிய மின்கல அடுக்கு எனக் கொள்வோம். *Q* என்பது + 2 வோல்ட்டுக்கும் — 2 வோல்ட்டுக்கும் மாறக் கூடிய மாறு திசை மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்கக் கூடிய கருவி எனக் கொள்வோம். இதனால், *Q* + 2 வோல்ட்டாக இருக்கும் பொழுது கிரிடு —4+ 2 = —2 வோல்ட் மின்னழுத்தத்தையும், *Q*, — 2 வோல்ட்

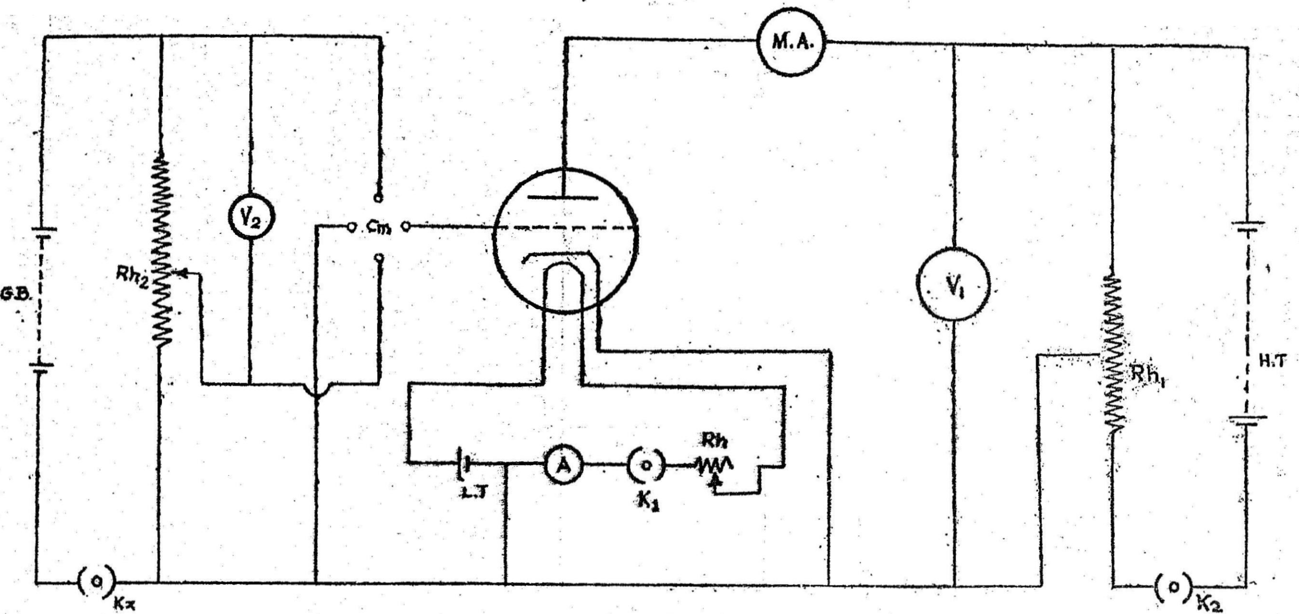



படம் 15-6.

ட்ரையோடு சுற்றில் ஒரு திசை, மாறுதிசை மின்னழுத்தங்கள்

டாக இருக்கும் பொழுது கிரிடு — 2 — 4 = — 6 வோல்ட் மின் அழுத்தத்தையும் பெறுகின்றது. அதாவது கிரிடு எப்பொழுதும் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்று, — 2 வோல்ட்டுக்கும், — 6 வோல்ட்டுக்கும் மாறிக்கொண்டே இருக்கும், கிரிடின் மின்னழுத்தம் — 2 வோல்ட்டாக இருக்கும் பொழுது நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் அதிக மின்னோட்டமும், கிரிடு மின்னழுத்தம் — 6 வோல்ட்டாக இருக்கும் பொழுது குறைந்த மின்னோட்டமும் நிகழும். கிரிடுச் சுற்றில் எதிர் மின்னழுத்தத்தைக் கூட்டிக் கொண்டே சென்றால், ஒரு நிலை அடைந்தவுடன் நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் முற்றிலும் நின்றுவிடும். இந்த மின்னழுத்தத்தை வெட்டு மின்னழுத்தம் (cut off voltage) என்று கூறுகிறோம்.

மேலே கண்ட முறையில் ட்ரையோடு மின் குழாயின் நேர் மின் குழாயின் நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் ஒரு மின் தடையை




படம் 15-7.

ட்ரையோடு சிறப்பியல் வளைகோடுட்ச் சுற்று.

இணைக்காமல், அதன் பண்புகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்தப் பண்புகளை வரை கோடுகள் மூலம் வரைந்து காட்டினால் அவற்றிற்குச் சிறப்புப் பண்பியல் கோடுகள் (characteristic curves) என்பது பெயர். நேர்மின் வாய்ச் சுற்றில் ஒரு தடையை இணைக்காத பொழுது அவை நிலையியல் பண்புக் கோடுகள் (static characteristic curves) எனப்படும். இத்தகைய கோடுகளைக் கொண்டு ஒரு மின்குழாயின் தொழிற்படு முறையையும் உபயோகங்களையும் நிர்ணயிக்கலாம். இத்தகைய நிலையியல் பண்புக் கோடுகள் குறிப்பிட்ட கிரிடு மின்னழுத்தத்தில் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்திற்கும், நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்திற்கும் வரையப்படுகின்றன; அல்லது குறிப்பிட்ட நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தில். கிரிடு மின்னழுத்தம், நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் ஆகியவைகளுக்கு இடையேயும் இத்தகையக் கோடுகளை வரையலாம்.

மின் குழாயின் பண்புகளை அறிவதற்கான மின் சுற்று, படம் 15·7-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அந்த மின் சுற்றில் மூன்று முக்கியப் பகுதிகள் உள்ளன. (1) ஃபிலமென்ட் சுற்று (2) நேர் மின்வாய்ச் சுற்று (3) கிரிடுச் சுற்று. ஃபிலமென்ட் சுற்றில் குறைந்த மின்னழுத்தமுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கு, ஓர் அம்மீட்டர் (ammeter), ஒரு முனைச்சாவி (key $K_1$), ஒரு மின் தடை மாற்றி ($Rh$) ஆகியவை தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் ஓர் உயர் மின்னழுத்த மின்கல அடுக்கு, ஒரு முனைச்சாவி ($K_2$) ஒரு மின் தடை மாற்றி ($Rh_1$) ஆகியவை தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மின் தடை மாற்றி ($Rh_1$), மின்னழுத்தத்தைப் பகுப்பதற்குப் (potential divider) பயன்படுகிறது. மின் தடை மாற்றியின் நேர் மின்வாய் ஒரு மில்லி அம்மீட்டர் மூலமாய் மின்குழாயின் நேர் மின்வாயுடனும், வழுக்குத் தொடுமுனை (sliding contact) ஃபிலமென்டுடனும், இணைக்கப்பட்டுள்ளன. $Rh_1$ என்ற மின் தடை மாற்றியின் நிலையான முனைக்கும் வழுக்குத் தொடுமுனைக்கும் இடையே இணைக்கப்பட்டுள்ள $V_1$ என்ற மின்னழுத்தமானி (voltmeter) நேர் மின்வாயின் மின்னழுத்தத்தைக் காட்டுகிறது. மில்லி அம்மீட்டர் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை அளக்கிறது. கிரிடுச் சுற்றிலும் மின்னழுத்தத்தைப் பகுக்கும் முறை உள்ளது. கிரிடுச் சுற்றில் ஒரு மின்கல அடுக்கு, ஒரு மின் தடை மாற்றி ($Rh_2$), ஒரு முனைச்சாவி ($K_3$) ஆகியவை தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. கிரிடுச் சுற்றின் நேர் மின்வாய், எதிர் மின்வாய் முனைகள் ஒரு திசைமாற்றியின் எதிர் எதிரான திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மற்ற இரு

எதிரெதிரான முனைகளுடன் கிரிடும், ஃபிலமெண்டும் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. $V_2$ என்ற வோல்ட் மீட்டர் கிரிடு மின்னழுத்தத்தை அளக்கிறது. திசை மாற்றியை உபயோகித்து கிரிடு மின்னழுத் தத்தை நேர்க் குறியிலிருந்து எதிர்க் குறியாகவோ, எதிர்க் குறியி லிருந்து நேர்க் குறியாகவோ மாற்றலாம் ; $Rh_2$ ஐப் பயன்படுத்தி மின்னழுத்தத்தின் அளவைக் குறைக்கலாம் ; அல்லது கூட்டலாம்.

### நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்திற்கும், நேர் மின்வாய் மின்னோட் டத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு (Relation between plate voltage and plate current)

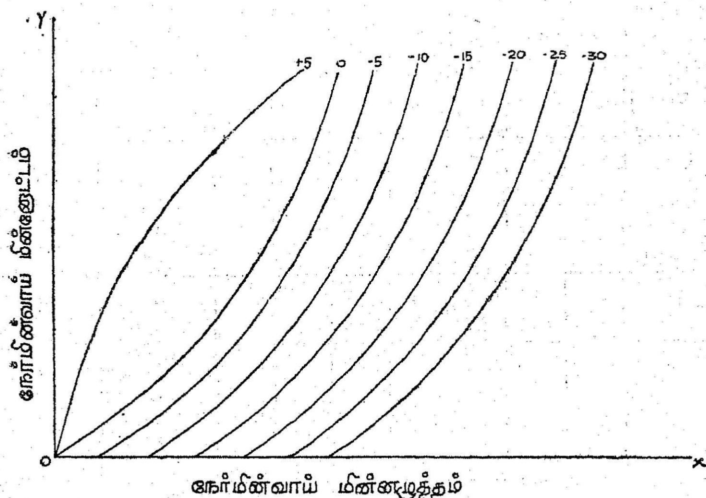
தொடக்கத்தில், $Rh_2$ என்ற மின்தடை மாற்றியைப் பயன் படுத்தி கிரிடு மின்னழுத்தம் —20 வோல்ட்டுகள் இருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். $Rh_1$ என்ற மின்தடை மாற்றியைப் பயன் படுத்தி நேர் மின்வாய்ப் பின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கும்படி

| கிரிடு மின்னழுத்தம் | நேர்மின்வாய் மின்னோட்டம் (மில்லி ஆம்பியரில்) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| —20 | | | | | | | | | | | |
| —15 | | | | | | | | | | | |
| —10 | | | | | | | | | | | |
| — 5 | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| +5 | | | | | | | | | | | |
| +10 | | | | | | | | | | | |
| +15 | | | | | | | | | | | |
| +20 | | | | | | | | | | | |

அட்டவணை 15·8.

செய்ய வேண்டும். மில்லி அம்மீட்டரிலிருந்து நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தின் அளவைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். கிரிடு மின்னழுத்தத்தை — 20 வோல்ட்களிலேயே வைத்துக் கொண்டு நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை 200 வோல்ட்டுகள் வரையில் இருபது இருபது, வோல்ட்டுகளாக உயர்த்த வேண்டும். ஒவ்வொரு தடவையும் அதாவது ஒவ்வொரு மின்னழுத்தத்திற்கும் சமமான நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை அளக்க வேண்டும். இந்தச் சோதனையைக் கிரிடு மின்னழுத்தம் —15, —10, —5, 0, +5, +10, +15, +20 வோல்ட்டுகளுக்குச் செய்ய வேண்டும், பிறகு முன்பக்கத்தில் காட்டியுள்ள முறைப்படி அட்டவணைப் படுத்த வேண்டும்.

நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை *X*-அச்சிலும், நேர்மின்வாய் மின்னோட்டத்தை *Y*-அச்சிலும் கொண்டு, ஒவ்வொரு கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்கும் வரை படங்கள் வரைதல் வேண்டும். இந்த வரை படங்களுக்கு நேர் மின்வாய்ப் பண்பியல் வளைவு கோடுகள் (anode characteristic curves) என்பது பெயர். கிரிடு எதிர்




படம் 15·9

நேர் மின்வாய்ப் பண்பியல் வளைகோடுகள்

மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றிருக்கும் பொழுது. மின்னழுத்தம் நேர்க் குறியாக இருக்கும் பொழுது கூட, நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் சுழியாக இருப்பது இந்த வளைகோடுகளிலிருந்து புலனாகின்றது. நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் ஒரே திசையிலிருப்பதால்

ட்ரையோடு மின் குழாயைத் திருத்தியாக (rectifier) உபயோகிக்கலாம் என்பதும் தெரிய வருகின்றது. நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை அதிகரிக்க அதிகரிக்க நேர் மின்வாய் மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கின்றது.

**கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்கும் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ளத் தொடர்பு (Relation between grid voltage and plate current)**

இந்தச் சோதனையில் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை நிலையாக வைத்துக்கொண்டு, வெவ்வேறு கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்குச் சரியான நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் காணவேண்டும். முதலில் $Rh_2$ என்ற மின்தடை மாற்றியைப் பயன்படுத்தி, கிரிடு மின்னழுத்தம் — 20 வோல்ட்டுகள் இருக்குமாறு செய்யவேண்டும். $Rh_1$ என்ற மின்தடை மாற்றியை உபயோகித்து நேர்மின்வாய் மின்னழுத்தம் 100 வோல்ட்டுகள் இருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். மில்லி அம்மீட்டரிலிருந்து மின்னோட்டத்தைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். கிரிடு மின்னழுத்தம் அதிகமாயிருப்பதால் இப்பொழுது நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் சுழியாகக் கூட இருக்கலாம். நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை 100 வோல்ட்டுகளிலேயே வைத்துக்கொண்டு கிரிடு மின்னழுத்தத்தை —18, —16, —14 ... 0 (சுழி) வோல்ட்டுகளாக மாற்றி ஒவ்வொரு நிலையிலும் மில்லி அம்மீட்டரில் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது திசைமாற்றியைத் திருப்பி கிரிடு மின்னழுத்தத்தை இரண்டிரண்டு வோல்ட்டுகளாகச் சுழியிலிருந்து + 20 வோல்ட்டுகள் வரை உயர்த்தி ஒவ்வொரு நிலையிலும் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். சோதனையை நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தங்கள் 140, 180, 220 வோல்ட்டுகளுக்குச் செய்யவேண்டும். அடுத்த பக்கத்தில் காட்டியுள்ளபடி மதிப்புகளை அட்டவணைப் படுத்தவேண்டும்.

கிரிடு மின்னழுத்தத்தை $X$-அச்சிலும், நேர்மின்வாய் மின்னோட்டத்தை $Y$-அச்சிலும் கொண்டு ஒவ்வொரு நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்திற்கும் வரை படம் வரையப்படுகின்றது. இந்த வரைகோடுகளுக்குப் பரிமாற்றுச் சிறப்பியல் வரைகோடுகள் (mutual characteristic curves) என்பது பெயர். நேர் மின்வாய் மின்தடைப் பெருக்க எண் (amplification factor), பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன் (mutual conductance) ஆகியவற்றைக் காண இந்த வரைகோடுகள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

| கிரிடு மின்னழுத்தம் | நேர்மின்வாய் மின்னோட்டம் (மில்லி ஆம்பியரில்) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 100 | 140 | 180 | 220 |
| −20 | | | | |
| −18 | | | | |
| −16 | | | | |
| −14 | | | | |
| −12 | | | | |
| −10 | | | | |
| − 8 | | | | |
| − 6 | | | | |
| − 4 | | | | |
| − 2 | | | | |
| 0 | | | | |
| + 2 | | | | |
| + 4 | | | | |
| + 6 | | | | |
| + 8 | | | | |
| +10 | | | | |
| +12 | | | | |
| +14 | | | | |
| +16 | | | | |
| +18 | | | | |
| +20 | | | | |

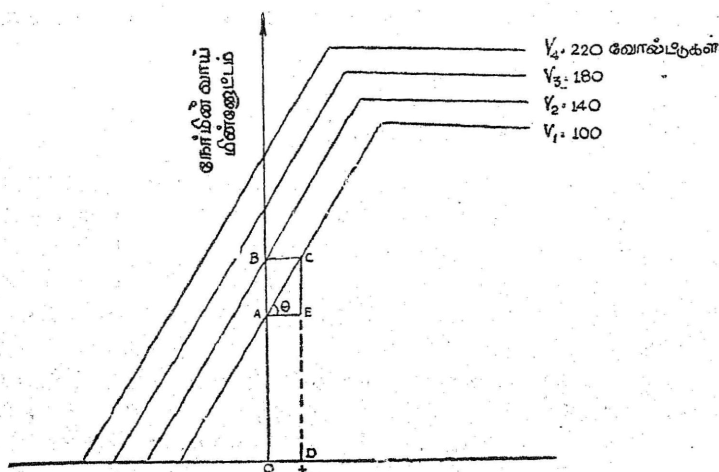
அட்டவணை 15·10.

**நேர் மின்வாய் மின்தடை (Plate resistance) அல்லது மின்எதிர்ப்பு (Impedance)**

கிரிடு மின்னழுத்தம் மாருதிருக்கையில் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்த உயர்வுக்கும், அதனல் ஏற்படும் நேர் மின்வாய் மின்னேட்ட உயர்வுக்கும், உள்ள தகவே, நேர் மின்வாய் மின்தடை எனப்படும். இது 'ஓம்' என்ற அலகால் குறிக்கப்படுகிறது.

கிரிடு மின்னழுத்தம் $V_j$ என்ற அளவில் மாருதிருக்கும் பொழுது, நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தில் மிகச் சிறிய வேறுபாடு $\delta V_a$ நேர் மின்வாய் மின்னேட்டத்தில் $\delta I_a$ என்ற அளவு மாற்றத்தை உண்டாக்குமானல், நேர் மின்வாய் மின்தடை

$$R = \left(\frac{\delta V_a}{\delta I_a}\right)_{V_i \text{ மாறிலி}}.$$




படம் 15·11.

நேர் மின்வாய்ச் சிறப்பியல் வளைகோடு

நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தங்கள் $V_1 = 100$ வோல்ட்டுகள், $V_2 = 140$ வோல்ட்டுகள் என்பவற்றிற்குச் சரியான இரண்டு சிறப்பியல் வரை கோடுகளை எடுத்துக் கொள்ளவும். கிரிடு மின்னழுத்தம் சுழிக்குச் சரியான $A$, $B$ என்ற இரு புள்ளிகளை இந்த வரை கோடுகளில் எடுத்துக் கொண்டால், நேர் மின்வாய்

மின்னழுத்தம் $V_1$-லிருந்து $V_2$-க்கு உயரும் பொழுது, நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் $AB$ அளவு (அதாவது $OA$-லிருந்து $OB$-க்கு) உயருகிறது. எனவே

$$R = \frac{V_2 - V_1}{AB}$$

$$\text{ஆகவே, } R = \frac{\delta V_a}{\delta I_a} = \frac{V_2 - V_1}{AB} \text{ ஓம்கள்}$$

வரை கோடுகள் ஏறக்குறைய இணை கோடுகளாக இருப்பதால் $R$ ஒரு மாறிலியாக இருக்கும்.

பெருக்க எண் (Amplification factor)

நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் மாறுதிருக்கையில், அதன் மின் அழுத்தத்திற்கும், கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள தகவே பெருக்க எண் எனப்படும். இது $\mu$ என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. பெருக்க எண்

$$\mu = \left(\frac{\delta V_a}{\delta V_i}\right)_{\delta I_a \text{ மாறிலி}}$$

படம் 15·11-ல் $C$ என்பது நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் 100 வோல்ட்டுக்குச் சரியான வரை கோட்டில் ஒரு புள்ளியாகும். கிரிடு மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கும் பொழுது நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் $V_1$-லிருந்து $V_2$-க்கு உயர்வதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது அதன் மின்னோட்டம் $AB$ அளவு உயருகிறது. இதை வேறு விதத்திலும் கருதலாம். நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை $V_1$-ல் நிலையாக வைத்துக் கொண்டு, இடைவாய் மின்னழுத்தத்தைச் சுழியிலிருந்து $OD$-க்கு உயர்த்தினால், நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் $EC$ ($= AB$) உயரும். எனவே பெருக்க எண்

$$\mu = \left(\frac{\delta V_a}{\delta V_i}\right)_{\delta I_a \text{ மாறிலி}} = \frac{V_2 - V_1}{OD}.$$

பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன் (Mutual conductance)

நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் மாறுதிருக்கையில், அதன் மின்னோட்ட மாற்றத்திற்கும், அந்த மாற்றத்திற்குக் காரணமான கிரிடு மின்னழுத்த மாற்றத்திற்கும் உள்ள தகவே பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறனாகும். இது உண்மையில் கிரிடு மின் தடையின் தலைகீழ் மதிப்பேயாகும். பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன் மோ (Mho)

என்ற அலகில் அளக்கப்படுகிறது. பரிமாற்றுக் கடத்தித் திறனை $G_m$ ஆகவும், நேர் மின்வாய் மின்னோட்ட மாற்றத்தை $\delta I_a$ ஆகவும் கிரிடு மின்னழுத்த மாற்றத்தை $\delta V_i$ ஆகவும் கொண்டால்,

$$G_m = \left(\frac{\delta I_a}{\delta V_i}\right)_{\delta V_a \text{ மாறிலி}}$$

இவ்வாறு நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் $V_i$-ல் நிலையாக இருக்கும் பொழுது, கிரிடு மின்னழுத்தம் சுழியிலிருந்து $OD$-க்கு அதிகரிக்குமானால், நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தில் மாற்றம் $EC\,(= AB)$ ஆகும். எனவே பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன், $G_m = \dfrac{AB}{CD}$ ஆகும். மேலும் சிறப்பியல் வரை கோடுகளின் வாட்டம் (slope) =

$$\frac{CE}{AE} = \frac{AB}{OD} = G_m$$

இவ்வாறு சிறப்பியல் வரை கோடுகளின் வாட்டம் பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறனுக்குச் சமமாகும்.

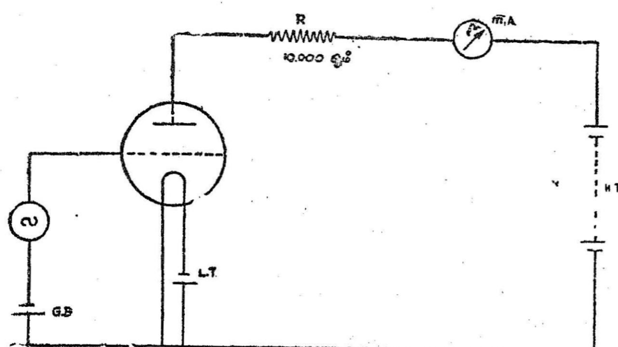
**பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன், பெருக்க எண், மின் எதிர்ப்பு ஆகியவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பு**

$G_m$, $\mu$, $R$ என்பவை முறையே ஒரு ட்ரையோடு மின் குழாயின் பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன், பெருக்க எண், மின் எதிர்ப்பு ஆகியவற்றைக் குறிக்கட்டும்.

$$\mu = \frac{V_2 - V_1}{OD} = \frac{V_2 - V_1}{AB} \times \frac{AB}{OD} = R \times G_m$$

$$\therefore \quad G_m = \frac{\mu}{R}$$

ஒரு மின் தடை வழியாக ஒரு மின்னோட்டம் நிகழும் பொழுது, அத்தடையின் இரு முனைகளுக்கிடையே ஓமின் விதிப்படி ஒரு மின்னழுத்த மாறுபாடு ஏற்படும் என்று முன்பு கண்டோம். காட்டாக மின் குழாயின் நேர் மின்வாயுடன் 10,000 ஓம் மதிப்புள்ள ஒரு மின்தடையைப் படம் 15·12-ல் காட்டியுள்ளபடி இணைப்போம்.




படம் 15·12.

ட்ரையோடு இயக்கப் பண்பியல் கோடுகள்

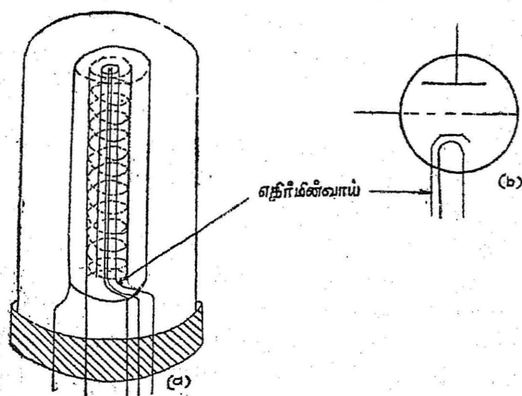
இப்படி இணைக்கும் பொழுது மின்தடையின் இரு முனைகளுக்கிடையில் ஒரு மின்னழுத்த மாறுபாடு தோன்றுகிறது. உதாரணமாக நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் 5 மில்லி ஆம்பியர் மின்னோட்டம் நிகழ்வதாகக் கொள்வோம். அதனால் மின்தடையின் இரு முனைகளுக்கிடையில் $\frac{5}{1000} \times 10{,}000 = 50$ வோல்ட் மின்னழுத்த மாறுபாடு உண்டாகின்றது. $H.T$ மின்னழுத்தம் 250 வோல்ட்டுகள் எனக் கொண்டால் நேர் மின்வாயுடன் 10,000 ஓம் மின்தடையை இணைப்பதால், இதன் மின்னழுத்தத்தில் 50 வோல்ட் குறைகிறது. எனவே நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் குறையும். $R$ என்ற மின்தடையை அதிகமாக்கினால் நேர் மின்வாய்க்குக் கிடைக்கும் மின்னழுத்தம் குறையும். எனவே $R$ ஐ அதிகமாக்கிப் பெருக்கற் பலனை அதிகமாக்க முயன்றால், அதன் காரணமாகவே நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் குறைந்து அதில் ஏற்படும் மின்னழுத்த மாறுபாடும் குறைந்து விடும். எனவே $R$ ஐ அதிகரித்துக் கொண்டே சென்றாலும் மின்குழாயின் பெருக்கற் பலனை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவே அதிகரிக்க முடியும்.

ட்ரையோடு மின்குழாயைப் பெருக்கி (amplifier), பகுப்பான், (detector), அலைவியற்றி (oscillator) ஆகியவைகளாக உபயோகிக்கலாம். குறைந்த அளவு மின்னழுத்த மாறுதல்களை அதிக அளவு மின்னழுத்த மாறுதல்களாக மாற்றித் தரும்பொழுது பெருக்கி எனவும், மாறு திசை மின்னோட்டத்தை மாறுகின்ற ஒரே திசை மின்னோட்டமாக மாற்றித் தரும்பொழுது பகுப்பான் எனவும், அலை உற்பத்திச் சாதனமாகப் பயன்படுத்தும் பொழுது அலைவியற்றி எனவும் ட்ரையோடு மின்குழாய்ச் சுற்றை அழைக்கிறோம்.

இனி. ட்ரையோடு மின்குழாயைப் பற்றிய வேறொரு கருத்தைக் கவனிப்போம். பொதுவாக மின்குழாய்களில் உள்ள ஃபிலமென்டைச் சூடாக்குவதற்கு மின்னழுத்தம் குறைந்த மாறு திசை மின்னோட்டத்தையே பயன்படுத்துகின்றனர். மாறு திசை மின்னோட்டத்தில் மின்னழுத்தம் ஒரே அளவாக இல்லாமல் மாறிக் கொண்டே இருக்கும். இந்த நிலை மின்னழுத்தம் குறைக்கப்பட்ட பின்னரும் நீடிக்கும். இதனால் ஃபிலமென்டும் குறைவாகவும் அதிக அளவிலும் மாறி மாறிச் சூடாக்கப்படும். எனவே ஃபிலமென்டிலிருந்து வெளியாகும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் குறையவும் கூடவும் செய்யும். இந்தக் குறைதலும் கூடுதலும் பல மடங்கு பெருக்கப்பட்டு விரும்பத்தகாத ஓர் ஒலியைக் கொடுக்கும். இதை ஆங்கிலத்தில் ''ஹம்'' (hum) என்று கூறுவர். இதைக் தடுப்பதற்காக ஃபிலமென்டை ஒட்டி வேறொரு தகட்டைப் பயன்படுத்துகின்றனர். இதன் உட்புறத்தில் அலுமினியம் ஆக்ஸைடு பூசப்பட்டிருக்கும். இந்தப் பூச்சு, ஃபிலமென்டிற்கும், நிக்கல் குழாய் வடிவத்திலுள்ள தகட்டிற்கும் மின் தொடர்பு ஏற்படாமல் தடுக்கிறது. ஆனால் அதே சமயத்தில் ஃபிலமென்டில் உண்டாகும் சூட்டை நிக்கல் குழாய்க்குக் கடத்துகிறது. நிக்கல் குழாயின் வெளிப்புறத்தில் பூசப்பட்டுள்ள ஸ்ட்ரான்ஷியம் ஆக்ஸைடு (strontium oxide), பேரியம் ஆக்ஸைடு (barium oxide) கலவை ஃபிலமென்டின் வெப்பநிலை மாறுபாட்டைப் பின்பற்றாமல், ஒரே வெப்பநிலையிலிருந்து ஒரே அளவு எலெக்ட்ரான்களை வெளியிட்டுக் கொண்டே இருக்கும். இந்த நிக்கல் குழாயை எதிர் மின்வாய் (cathode) என்று கூறுவர். மின்சுற்றுகளில் ஃபிலமென்டிற்குப் பதிலாக நேர் மின்வாயையும் எதிர் மின்வாயையுமே இணைப்பர். இந்த எதிர் மின்வாய், ஃபிலமென்டிற்குப் பதிலாக எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடப் பயன்படுகிறது. எனவே இதை ஒரு தனி உறுப்பாகக் கருதி மின்குழாயின் பெயர் மாற்றப்படுவதில்லை. இதையும் சேர்த்து நேர் மின்வாய், கிரிடு, ஃபிலமென்ட், எதிர் மின்வாய், என நான்கு உறுப்புகளிலிருந்த போதிலும், மின்குழாய், ட்ரையோடு எனவே வழங்கப்படுகிறது. ஆனால் இத்தகைய மின்குழாய்கள் மறைமுகமாகச் சூடுபடுத்தப்படும் மின்குழாய்கள் (indirectly heated valves) என அழைக்கப்படுகின்றன. இத்தகைய மின்குழாயின் அமைப்பு 15·13-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

ட்ரையோடு மின்குழாயைப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தலாம் என்றுமேலே கூறினோம். அதாவது ட்ரையோடுமின்குழாய் குறைந்த மின்னழுத்த மாறுதல்களை அதிக மின்னழுத்த மாறுதல்களாகப் பெருக்கிக் கொடுக்கிறது. இந்த மாறுதல்களின் அதிர்வு எண்

அல்லது அடுக்கம் செவியுறு அடுக்க அளவில் (audio frequency) இருக்கும் பொழுது ட்ரையோடு மின்குழாய் நன்ருகவே தொழிற் படுகிறது. ஆனல் மிக அதிக அளவில, அதாவது ரேடியோ அடுக்க அளவில் (Radio frequncy) பெருக்கற்பலனை அதிகரிக்கும் பொழுது இடை யூறுகள் ஏற்படுகின்றன. ட்ரையோடின் உறுப்புகள் ஒன்லை ஒன்று தொடாமலிருந்த போதிலும் அவைகளுக்குள் மின் தேக்கி முறையில் தொடர்பு இருப்பதாகக் கருதலாம். அதாவது




படம் 15·13

மறைமுகமாகச் சூடுபடுத்தப்படும் மின்குழாயின் அமைப்பு

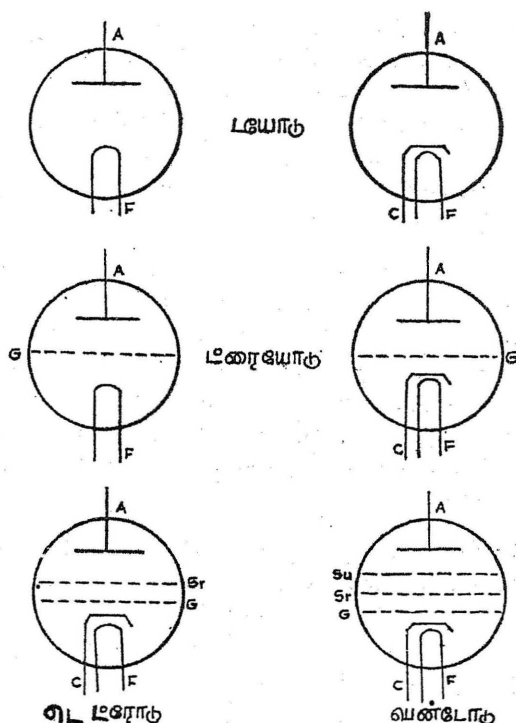
நேர் மின்வாயும், கிரிடும் சேர்ந்து ஒரு மின்தேக்கியாகவும், நேர் மின்வாயும், எதிர் மின்வாயும் சேர்ந்து ஒரு மின்தேக்கியாகவும், எதிர் மின்வாயும் கிரிடும் சேர்ந்து ஒரு மின்தேக்கியாகவும் அமை கின்றன என்று கருதலாம். இவைகளுள் முதலில் சொல்லப்பட்ட அமைப்பே முக்கியமானதாகக் கருதப்படுகிறது. ரேடியோ அடுக்கப் பெருக்கத்தின் பொழுது, நேர் மின்வாயில் ஏற்படும் பெருக்கப்பட்ட அலைவுகளின் திறனில் ஒரு பகுதி கிரிடுச் சுற்றில் அத்தகைய அலைவுகளைத் தூண்டுதற்கு உதவியாக மேலே கூறப்பட்ட நேர் மின்வாய்-கிரிடு மின்தேக்கி உதவி செய் கிறது. இவ்வாறு தூண்டப்பட்ட அலைவுகள் கிரிடுச் சுற்றில் உள்ள அலைவுகளோடு இசையும்படி அமையுமாயின், அவை மின்குழாயில் பெருக்கப்பட்டுத் திரும்பவும் கிரிடுச் சுற்றுக்கு வந்து சேரும். இந்த நிலை திரும்பத் திரும்ப நிகழுமாயின் இதனல் ஏற்படக்கூடிய ஒலியே மேலோங்கி நிற்கும். நமக்குத் தேவையான அடுக்கம் மறைந்துவிடும். இதைத் தடுக்கவேண்டுமானல் நேர் மின்வாய் கிரிடு மின்தேக்கி அமைப்பைத் தடுக்க வேண்டும். இதைச் செய்வ

தற்கு நேர் மின்வாய்க்கும் கிரிடுக்கும் இடையில் மற்றொரு மின் வாயைப் பொருத்த வேண்டும் என்று ஷாட்கி (Schottky) என்ற விஞ்ஞானி கூறினார். இதன் அமைப்பு ஏறக்குறைய கிரிடின் அமைப்பைப் போலவேயிருக்கும். மேலும் எப்பொழுதும் நேர் மின் வாயை விடச் சற்றுக் குறைந்த அளவு நேர்மின்னோட்டம் பெற்றதாக இருக்கும். இத்தகைய மின்வாய், திரை கிரிடு (screen grid) என அழைக்கப்படுகிறது.

நேர் மின்வாய், கிரிடு எதிர் மின்வாய், திரை கிரிடு ஆகிய நான்கு உறுப்புகளைக் கொண்ட மின்குழாயை டெட்ரோடு (Tetrode) என வழங்குகின்றனர். டெட்ரோடில் திரை கிரிடு எதிர் மின் னூட்டம் பெற்றிருப்பதால் ஃபிலமென்ட் அல்லது எதிர் மின்வாயி லிருந்து வெளிப்படும் எல்லா எலெக்ட்ரான்களையும் ஈர்த்து, தன் வழியே நேர் மின்வாய்க்கு அனுப்புகிறது. ஆகவே ட்ரையோடு மின்குழாயை விட இதில் மின்னோட்டம் அதிகமாகிறது. ஆனால் இதிலும் ஒரு குறையுள்ளது.

ஃபிலமென்ட் அல்லது எதிர் மின்வாயிலிருந்து வெளிப்படும் எலெக்ட்ரான்களைத் திரை கிரிடு கவர்ந்து நேர் மின்வாயை அடையச் செய்வதால், அவ்வாறு செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாயை அதிக வேகத்தில் சென்று மோதுகின்றன. இதனால் நேர் மின்வாயிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களைக் கிளப்பு கின்றன. இப்படிக் கிளப்பும் எலெக்ட்ரான்கள் திரை கிரிடால் கவர்ந்திழுக்கப்பட்டு வழக்கமான மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த் திசை யில் ஒரு மின்னோட்டத்தை உருவாக்குகின்றன. எனவே நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் குறைகிறது. அதன் காரண மாகப் பெருக்கற் பலனும் குறைகிறது. இதைத் தவிர்ப்பதற்கு நேர் மின்வாய்க்கும் கிரிடுக்குமிடையில் திரை கிரிடைப் போன்ற மற்றொரு மின்வாய் பொறுத்தப்பட்டு எதிர் மின்வாயுடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கும். எனவே திரை கிரிடை நோக்கி வரும் எலெக்ட் ரான்கள் தடுக்கப்பட்டு நேர்மின்வாயை நோக்கிச் செல்லுமாறு இந்த மூன்றாவது கிரிடு தொழிற்படும். இந்த மின்வாய்க்கு அடக்கு கிரிடு (suppressor grid) என்பது பெயர். இத்தகைய மின்குழாய்க் குப் பென்டோடு (Pentode) என்பது பெயர். ஜாஸ்ட் (Johet), டெலிகன் (Telegon) என்ற விஞ்ஞானிகள் இதை உருவாக்கினர்.

இதுவரை கூறப்பட்ட 'டயோடு' (Diode), நேர்முகமாகச் சூடு படுத்தப்படும் ட்ரையோடு (Directly heated triode), மறைமுக மாகச் சூடுபடுத்தடும் மின்குழாய் (Indirectly heated valve), டெட்ரோடு (Tetrode), பென்டோடு (Pentode) ஆகியவற்றின் அமைப்புகள் படங்கள் மூலம் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளன.




**படம் 15·14.**

பல்வகை மின்குழாய்களின் அமைப்பு

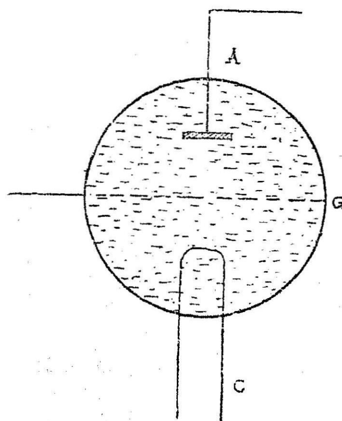
A — நேர் மின்வாய்
C — எதிர் மின்வாய்
Sr — திரை கிரிடு
F — ஃபிலமென்ட்
G — கிரிடு
Su — அடக்கு கிரிடு

மேலே கூறப்பட்ட மின்குழாய்களே அடிப்படை முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. இவைகளைத் தவிர ராடார் சாதனத்தில் பெரிதும் பயன்படுகின்ற மாக்னெட்ரான் (magnetron), கிளைஸ்ட்ரான் (klystron) போன்ற குழாய்களும் உள்ளன. அவைகளைப் பற்றி விவரிவாகப் பிறிதொரு பகுதியில் பார்ப்போம்.

### தைரட்ரான் மின்குழாய் (The Thyratron valve)

தைரட்ரான் மின்குழாய் ஒரு ட்ரையோடைப் போலவே நேர் மின்வாய், எதிர் மின்வாய், கிரிடு ஆகிய மூன்றை உடையது. இவை காற்றுப் புகாத கண்ணாடி அல்லது உலோகக் குழாய்க்குள் ஒன்றுக்கொன்று சம இடைவெளியில் வைக்கப்பட்டு இருக்

கின்றன. குழாய்க்குள் பாதரச ஆவி மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தில் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர் மின்வாயை நோக்கி எலெக்ட்ரான்கள் பாதரச ஆவியினூடே செல்லுகின்றன. இந்த மின்குழாயில் பாதரச ஆவி உள்ளதால் இதன் பண்புகள் ட்ரையோடு மின்குழாயின் பண்புகளிலிருந்து சில விதங்களில் மாறுபட்டிருக்கும். இந்த மின்குழாய்க்கு வாயு நிறைந்த ட்ரையோடு (gas filled triode) என்ற பெயரும் உண்டு.




படம் 15·15.
தைரட்ரான் மின்குழாய்

தொடக்கத்தில் கிரிடுக்கு அதிகமான எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுத்தால் நேர்மின்வாய் மின்னோட்டம் இராது. இப்பொழுது கிரிடின் எதிர் மின்னழுத்தத்தைச் சிறிது சிறிதாகக் குறைத்துக் கொண்டே வந்தால் பாதரச ஆவியில்லாத மின்குழாயில் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் எங்குத் துவங்குமோ அந்த அளவு வந்ததும் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் சுழியிலிருந்து உச்ச அளவுக்குத் திடீரென்று தாவுகிறது. இவ்வாறு நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் ஆரம்பித்த பிறகு கிரிடுக்கு அதன்மேல் ஒரு கட்டுப்பாடுமில்லை. வெட்டு மின்னழுத்தத்திற்கு அதிகமான எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுத்தாலும் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தில் ஒரு மாறுதலும் ஏற்படுவதில்லை. மின்னோட்டத்தை நிறுத்த நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை மின்குழாயிலுள்ள ஆவியின் அயனித்தல் மின்னழுத்தத்திற்குக் கீழே குறைக்கவேண்டியுள்ளது.

நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் தொடங்கியவுடனே எதிர் மின்வாயிலிருந்து செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள் பாதரச ஆவி அணுக்களுடன் மோதி ஏராளமான அயனிகளைத் (ions) தோற்றுவிக்கின்றன. இந்த அயனிகள் எதிர் மின்னூட்டம் உடைய கிரிடை நோக்கிச் செல்லுகையில் அவைகளும் கிரிடுடன் மோதி, மேலும் அதிக அளவில் அயனிகளை உண்டாக்குகின்றன. இவ்வாறு அயனிகளின் ஓட்டம் திடீரென்று பெருகி விடுகிறது. நேர்மின் அயனிகள் கிரிடைச் சூழ்ந்து அதன் மின்னூட்டத்தைச் சுழியாக்கி விடுவதால் கிரிடு மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் திறனற்று விடுகிறது.

தைரட்ரான் மின்குழாய்கள் ராடாரில் அதிக அளவில் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. குறிப்பாக ராடாரில் பயன்படும் தைரட்ரான் மின்குழாய்கள் பாதரச ஆவிக்குப் பதிலாக ஹைடிரஜனால் நிரப்பப் படுகின்றன. ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் நிறை குறைவாக இருப்பதாலும், அவை அதிக வேகத்தில் செல்லக்கூடியனவாக இருப்பதாலும் ஹைட்ரஜன் நிரப்பப்பட்ட தைரட்ரான் மின்குழாய்களை உபயோகிக்கும்பொழுது அதிக அளவில் மாறுகின்ற மின்னோட்டத்தைப் பெறமுடிகின்றது.

## படிப்பதற்குரிய நூல்கள்

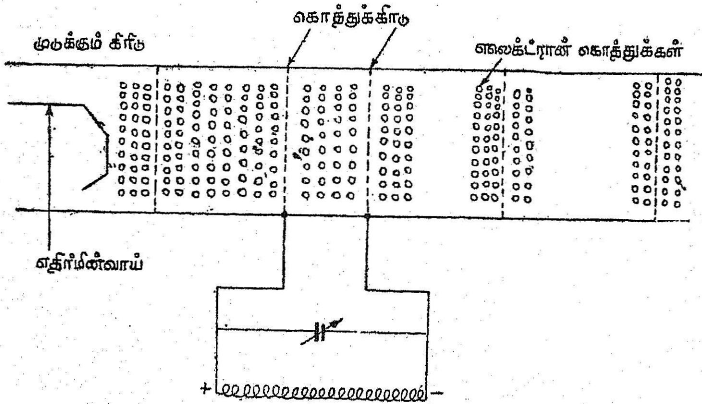

1. Electron Tubes — *By Seely*
2. Hand Book of Electronics — *By Gupta and Kumar*
3 Electronics Made Simple — *By Henry Jacobow:..*

# 16. கிளைஸ்ட்ரான், மாக்னெட்ரான் மின்குழாய்கள்

## (Klystron, Magnetron tubes)

**கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய்**

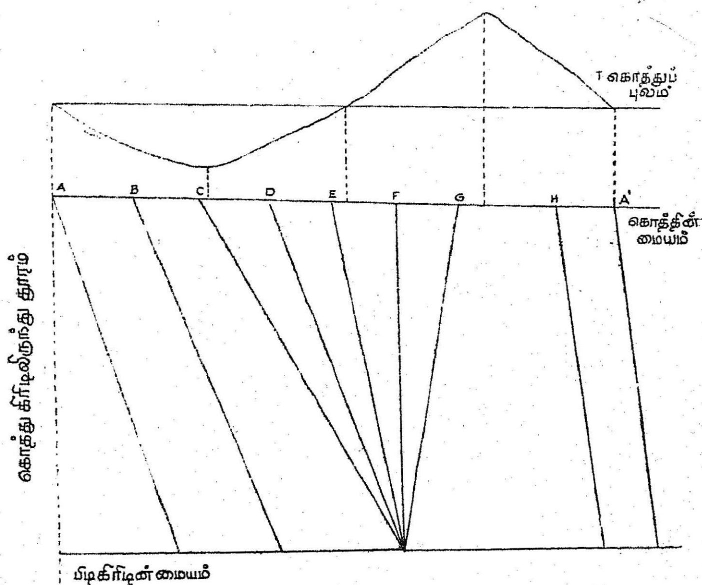
கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய் எலெக்ட்ரான் கற்றையின் திசை வேகப் பண்பேற்றம் (velocity modulation) என்ற தத்துவத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது. ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரான் (reflex kleystron) என்ற மின்குழாயும் இதே தத்துவத்தை ஒட்டித் தொழிற்படு கின்றது. படம் 16·1 ஐ கவனிக்கவும்.




படம் 16·1.
ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரான்

இதில் எலெக்ட்ரான்கள் எதிர்மின் வாயினுல் வெளியிடப்படு கின்றன; கிரிடினுல் ஒரே சீராக முடுக்கப்படுகின்றன. எலெக்ட் ரான்கள் கிரிடை விட்டு ஒரே சீரான வேகத்தில் தாண்டிச் சென்ற

பிறகு வேறு இரு நெருக்கமான கிரிடுகள் வழியே செல்கின்றன. இந்த இரு கிரிடுகளுக்கும் 'கொத்துக் கிரிடுகள்' (buncher grids) என்பது பெயர். ஒவ்வொரு கொத்துக் கிரிடும் ஓர் இசைவுச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இசைவுச் சுற்றுகளும் கொத்துக் கிரிடுகளும் முடுக்குக் கிரிடைப் போன்று ஒரே மின்னழுத்தத்தில் உள்ளன. இசைவுச் சுற்றல் தொழிற்படுகின்ற மாறுதிசை மின்னழுத்தம் எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகத்தில் மாறுதல்களை உண்டாக்குகின்றது. இந்தத் திசைவேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் அப்பொழுதுள்ள மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்துள்ளது. மாறுதிசை மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கும்பொழுது ஓர் எலெக்ட்ரான் கொத்துக் கிரிடுகளின் மையத்தைக் கடந்து செல்லுமானால் அதன் திசைவேகத்தில் எந்த மாறுதலும் ஏற்படுவதில்லை. படம் 16·2-ல் எலெக்ட்ரான்களின் இருப்பிடத்திற்கும் நேரத்திற்குமான வளைவுகோடுகள் காட்டப்பட்டுள்ளன.

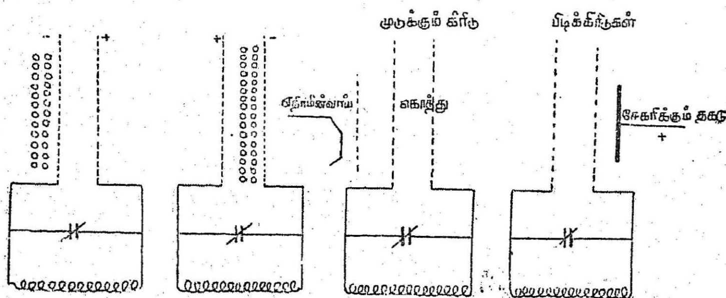



படம் 16·2.

எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகக் கோடுகள்

இந்தக் கோடுகளின் வாட்டம் எலெக்ட்ரான்களின் திசை வேகத்தைக் குறிக்கிறது. மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கின்ற நேரத்திற்கு முன்னதாக (படத்தில் *C*, *D* என்ற புள்ளிகள்), கொத்துக்

கிரிடுகளின் மையத்தின் வழியாகச் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் குறையும். ஏனெனில் கொத்துக் கிரிடுகளின் குறைந்த மின்னழுத்தம் அவைகளின் வேகத்தைக் குறைத்துவிடும். மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கின்ற நேரத்திற்குப் பின்னதாக (படத்தில் F, G என்பன) கொத்துக் கிரிடுகளின் மையத்தின் வழியாகச் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் அதிரிக்கும். ஏனெனில் கொத்துக் கிரிடுகளின் அதிக மின்னழுத்தம் எலெக்ட்ரான்களை முடுக்கும். கொத்துக் கிரிடுகளுக்கு அப்பால் புலம் இல்லாதிருந்தால் வேகமாகச் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்கள் F, G ஆகியவையும் மெதுவாகச் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்கள் C, D ஆகியவையும், இயல்பான வேகத்தில் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான் E எல்லாம் ஒன்றுசேர்ந்து நெருங்கிச் செல்லும். இந்த முறையில் பல்வேறு திசைவேகங்களுடன் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்கள் சிறுசிறு கூட்டங்களாகச் சேர்ந்து செல்லுகின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான் கூட்டங்கள் கொத்துக் கிரிடையொத்தப் பிடிகிரிடுகள் (catcher grids) என்று சொல்லப்படும் வேறு இரு கிரிடுகளின் வழியேச் செல்லுகின்றன. இந்தப் பிடிகிரிடுகளும் வேறு ஓர் இசைவுச் சுற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.




படம் 16·3.

படம் 16·3 (a) படம் 16·3(b)

முடுக்குக் கிரிடுகளும் பிடி கிரிடுகளும்

இந்த எலெக்ட்ரான் கூட்டங்களின் ஒவ்வொரு சிறு கூட்டமும் பிடிகிரிடுகளின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது அவைகளுக்கிடையே உள்ள புலத்தினால் எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் குறைக்கப்பட்டு அவைகளின் ஆற்றல் கவரப்படுகிறது. $T$ என்பது அலைவு நேரம் எனக் கொண்டால் கொத்துக் கிரிடிலிருந்து பிடி கிரிடு செல்லுவதற்கு எலெக்ட்ரான்களுக்கு $\frac{T}{2}$ வினாடி நேரம் பிடிக்கும்.

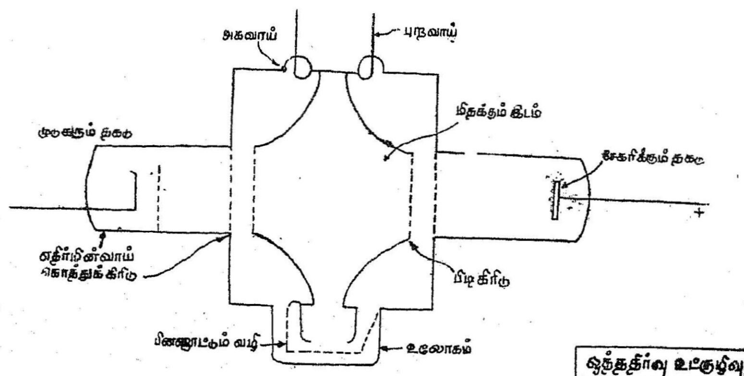
எலெக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}mV^2$ ஆகும். இதில் $m$ என்பது எலெக்ட்ரான்களின் நிறையையும் $V$ என்பது திசை வேகத்தையும் குறிக்கும். திசைவேகம் குறைவதால் எலெக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் குறைகிறது. எனவே ஆற்றலின் ஒரு பகுதி புலத்திற்கு மாற்றப்பட்டிருக்க வேண்டும். இதே மாதிரி எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்பொழுது அவை புலத்திலிருந்து ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். பிடி கிரிடுகளுக்கு ஆற்றலைக் கொடுத்த பிறகு, எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் வெகுவாகக் குறைகிறது. பிடி கிரிடுகளைத் தாண்டிய பிறகு எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின்னழுத்தம் உடைய ஒரு சேகரிக்கும் (collector) தகட்டினுல் அகற்றப்படுகின்றன. படம் 16·3 (b). இதுவே கிளைஸ்ட்ரான் வேலை செய்யும் தத்துவம் ஆகும்.

படம் 16·3 (b)-ல் கிளைஸ்ட்ரானின் அமைப்புக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதன் தத்துவம் 'திசைவேகப் பண்பேற்றத்' தத்துவமாகும்.

பிடிகிரிடின் வெளிவரு மின்னழுத்தம் கொத்துக் கிரிடுக்குத் திருப்பவும் சரியான கட்டத்தில் அளிக்கப்பட்டால் கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய் ஓர் அலேவியற்றியாகச் செயற்படுகிறது. இதற்கு எலெக்ட்ரான்களைக் கொத்தாக உருவாக்குவதற்குத் தேவையான ஆற்றல் அவை பிடி கிரிடுக்குத் கொடுக்கின்ற ஆற்றலை விடக் குறைவாயிருக்கவேண்டும். கொத்துக் கிரிடு வழியே எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு கற்றையாகச் செல்லுவதாலும் பிடி கிரிடு வழியே அவை சிறுசிறு கூட்டங்களாகச் செல்வதாலும் இது சாத்தியமாகிறது. எனவே கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாயின் அடிப்படைத் தத்துவம் திசைவேகப் பண்பேற்றமேயாகும்.

கொத்துக் கிரிடுகளைத் தொடர்ச்சியான எலெக்ட்ரான் கற்றைகள் நெருங்குகின்றன. அவை மாறுதிசை மின்புலங்களின் விளைவுகளை ஏற்கின்றன. எனவே ஓர் அரைச் சுற்றில் முடுக்கப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும், அடுத்த அரைச் சுற்றில் எதிர் முடுக்கப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாகும். இவ்வாறு எலெக்ட்ரான்களுக்கும், கொத்துக் கிரிடுக்கும் எவ்வித ஆற்றல் மாற்றமும் நிகழ்வதில்லை. மேலும் கொத்துக் கிரிடிலிருந்து வெளிவரு ஆற்றல் எடுக்கப்பட்டபோதிலும் பிடி கிரிடு கொத்துக் கிரிடுக்கு ஆற்றலை அளிப்பதால் பின்னதன் ஆற்றல் குறைவதில்லை. மேலும் ஒவ்வொரு சுற்றிலும் பிடி கிரிடு கொத்துக் கிரிடுக்கு அளிக்கவேண்டிய ஆற்றலைத் தேவையான அளவு பெறுகிறது.

கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய்களைப் பெருக்கியாகவோ, அலை வியற்றியாகவோ, அல்லது கலக்கியாகவோ உபயோகிக்கலாம். மிக உயர்ந்த அடுக்கங்களில் தொழிற்படும்பொழுது ஒத்ததிர்வுச் சுற்றுகள் ஒத்ததிர்வு உட்குழிவுகளாகச் (resonant cavity) செயற் படுகின்றன. ஏனெனில் கிரிடுகள் உட்குழிவின் ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றது. ஒத்ததிர்வு உட்குழிவுகள் சிறியவை; ஆனால் தரத்தில் உயர்ந்தவை. இத்தகைய உட் குழிவின் படம் 16·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

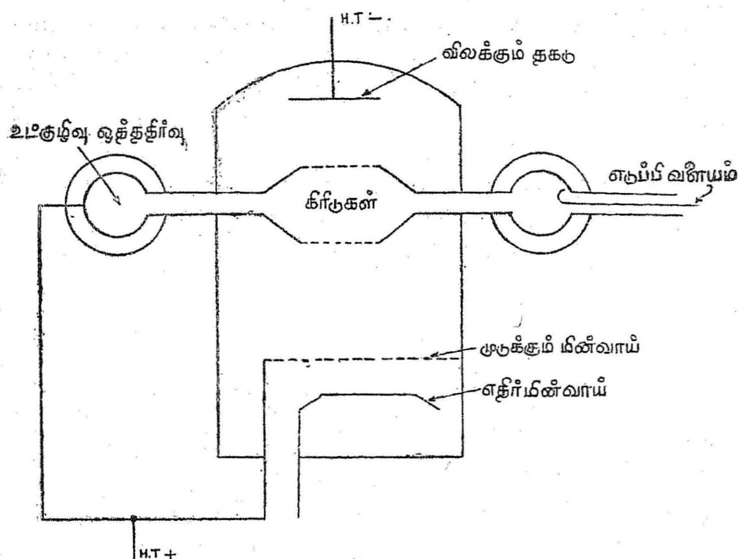



படம் 16·4.

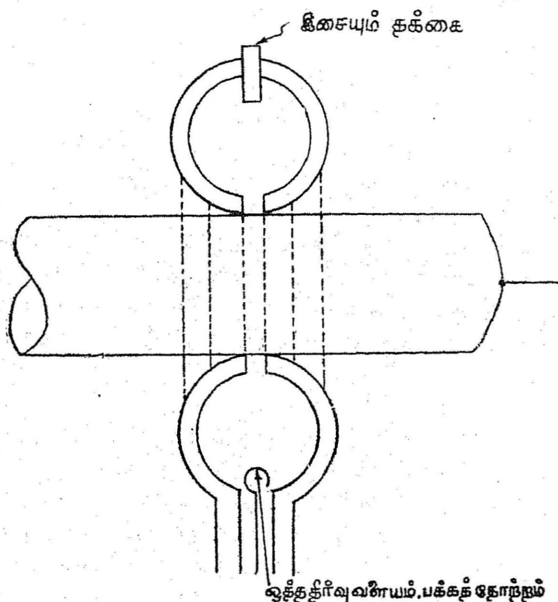
ரிப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரானின் அமைப்பு

இத்தகைய கிளைஸ்ட்ரான்கள் அலைவியற்றிகளாக அதுவும் குறிப்பாக மிக உயர்ந்த அடுக்கங்களில் பயன்படுகின்றன. ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரான்களில் ஒரே இரட்டை கிரிடு கொத்துக் கிரிடாகவும் பிடி கிரிடாகவும் பயன்படுகின்றது. நேர் மின்னழுத்தம் உடைய சேகரிக்கும் தகடுகளுக்குப் பதிலாக மிக அதிக எதிர் மின்னழுத்தம் உள்ள விலக்கத் தகடு (repeller electrode) பயன் படுகிறது.

விலக்கத் தகட்டின் எதிர் மின்னழுத்தத்தைத் தக்கபடி சரி செய்து, கொத்துக் கிரிடுகளைத் தாண்டிச் சென்ற எலெக்ட்ரான்கள் மீண்டும் திரும்பிவந்து சரியான கட்டத்தில் ஆற்றலை மின் சுற்றிற்குக் கொடுக்கும்படி செய்யப்படுகின்றன. இம் முறைக்குப் 'பின்னூட்டம்' (feed back) என்பது பெயர். ஆற்றலை இழந்த எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன. மின்சுற்றிலிருந்து ஆற்றலை வேண்டிய அளவு பெற்றுக் கொள்ளலாம்.




படம் 16·5 (a).
ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரானின் அமைப்பு



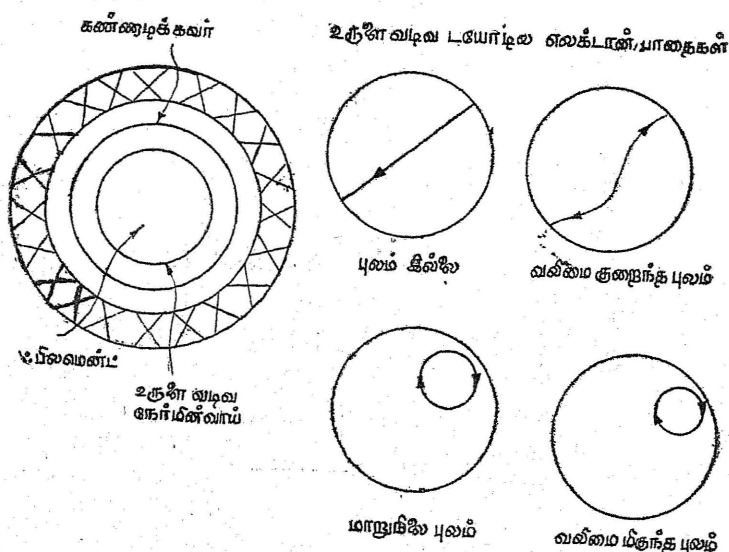

படம் 16·5 (b).
ரிஃப்ளக்ஸ் கிளைஸ்ட்ரான்

**மாக்னெட்ரான் (Magnetron)**

மாக்னெட்ரான் முதன் முதலில் 1921-ல் ஹல் (Hull) என்பவ ரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது உருளை வடிவமான டயோடு குழாயாக இருந்தது. உருளையின் அச்சில் எதிர் மின்வாய் பொருந்தி உள்ளது. எதிர் மின்வாயைச் சுற்றி உருளை வடிவத்தில் நேர் மின்வாய் உள்ளது. இந்த உருளையின் அச்சுக்கு இணையாக ஒரு சீரான காந்தப் புலம் செயற்படுகிறது. தொடக்கத்தில் டயோடு மின் குழாயைச் சுற்றி ஒரு வரிச் சுருளை (solenoid) வைத்துக் காந்தப் புலத்தை உண்டாக்கினர்.

மின் குழாய்க்குள் எலெக்ட்ரான்கள் தொழிற்படும் முறையை படங்கள் 16·6 (b), (c), (d), (e) மூலம் உணரலாம்.

படம் 16·6 (a) மாக்னெட்ரானின் அமைப்பைக் காட்டு கிறது.



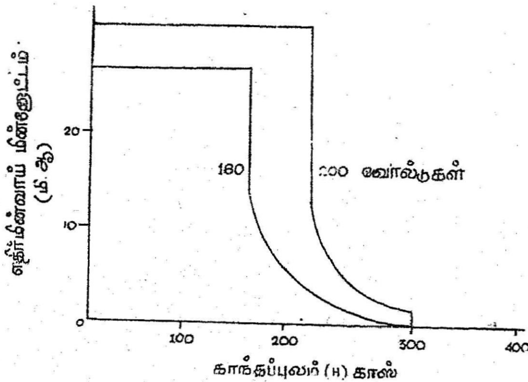

படம் 16·6.

மாக்னெட்ரான்

நேர் மின்வாய் நேர் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. மேலே உள்ள படங்களில் டயோடின் கிடைமட்டத் தோற்றம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. காந்தப் புலம் இல்லாத பொழுது

எலெக்ட்ரான்கள் மின்புல வலிமையினுல் வேகமாகச் செல்லும். வலிமை குறைந்த காந்தப் புலத்தைக் கொடுக்கும் பொழுது எலெக்ட்ரான்கள் விலக்கப்படும். இந்த விலக்கும் விசை காந்தப் புலத்தின் விசைக்கும் எலெக்ட்ரான்கள் ஓடும் திசைக்கும் செங்குத்துத் தளத்தில் இருக்கும். ஃப்ளமிங்கின் (Fleming) இடக்கை விதிப்படி இந்த விலக்க விசை ஒரு வட்ட இயக்கத்தை (circular motion) தோற்றுவிக்க வேண்டும். எனவே, எலெக்ட்ரான்கள் வட்டப் பகுதிகளில் ஃபிலமென்டுக்குச் செல்ல ஆரம்பிக்கின்றன. காந்தப் புலத்தின் வலிமையை அதிகரிக்கும் பொழுது இந்த வட்டப் பாதையின் ஆரம் குறைகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட புல வலிமையில் எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின் வாயைச் சென்றடையாமல் அதைத் தொட்டுக் கொண்டு வட்டப் பாதையில் செல்லும். காந்தப் புல வலிமையை மேலும் அதிகரிக்கும் பொழுது இந்தப் பாதைகளின் ஆரங்கள் மேலும் குறையும். இவைகளே படம் (b), (c), (d), (e)-ல் விளக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

படம் 16·7-ல் இத்தகைய மின் குழாயின் நிலையில் தனிப் பண்புகள் (static characteristics) காட்டப்பட்டுள்ளன.




படம் 16·7.

மாக்னெட்ரானின் நிலையில் தனிப் பண்புகள்

கொள்கையின்படி குறிப்பிட்ட நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்திற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வரை காந்தப் புலம் அதிகரிக்கும் பொழுது நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் நிலையாக இருக்க வேண்டும். மாறுநிலை மின்புலத்தில் (critical field) நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் திடீரென்று குறைகிறது. கொள்கையின்படி இந்த

மின்னோட்டம் திடீரென்று சுழியாக வேண்டும். ஆனால் நடப்பில் அப்படி ஆவதில்லை. படம் 16·7-ல் காட்டியபடியே மின்னோட்டம் வளைவுகளால் குறிக்கப்படுகிறது இதற்கு அநேகக் காரணங்கள் உள்ளன. உதாரணமாக, ஃபிலமெண்டை விட்டு வெளியேறும் பொழுது எலெக்ட்ரான்களின் திசை வேகம் வெவ்வேறு அளவிலிருக்கிறது. மேலும், நேர் மின்வாயைச் சென்றடையும் பொழுதும் எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் வெவ்வேறு அளவிலிருக்கிறது. மேலும், காந்தப் புலம் நேர்மின் வாயின் நீளம் முழுவதிலும் ஒரே சீராக இருப்பதில்லை. நேர்மின் வாயின் முனைகளிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் போய்க்கொண்டே இருக்கின்றன. படம் 16·7-லிருந்து டயோடில் நேர்மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் காந்தப் புலத்தைக் கொண்டு கட்டுப்படுத்தலாம் என்பது புலனாகின்றது. ட்ரையோடு மின்முனையில் எப்படி கிரிடு மின்னழுத்தம் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறதோ அதேபோல் டயோடில் காந்தப் புலம் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. இந்தத் தத்துவம் தான் முதல் மாக்னெட்ரான் அலையியற்றியில் பயன்படுத்தப்பட்டது. ஆனால் அப்பொழுது குறைந்த அடுக்க அலைவுகளையே உண்டாக்க முடிந்தது. நவீன மாக்னெட்ரான்களில் நிலையான காந்தப் புலத்தைப் பயன்படுத்தி நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தின் திசையைக் கட்டுப்படுத்துகின்றனர்.

1924 வரையில் மாக்னெட்ரான் அலையியற்றி அவ்வளவு விரிவாகப் பயன்படுத்தப்படவில்லை. 1929-ல் மாக்னெட்ரானில் சிறந்த மாற்றங்கள் செய்யப்பட்டன. நேர் மின்வாய் இரண்டு அல்லது பல பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு, அப் பகுதிகள் இடைவெளிவிட்டு அமைக்கப்பட்டன. இரண்டாகப் பிரிக்கப்பட்ட நேர் மின்வாய் மாக்னெட்ரான்கள் (split anode magnetron) அதிக அளவில் உபயோகத்திற்கு வந்தன. இப்படி நேர் மின்வாய்களைப் பிரித்ததால்தான் மிக அதிக அடுக்க அலைவுகளை (ultra-high frequency) உற்பத்தி செய்ய முடிந்தது. நவீன பிரிக்கப்பட்ட நேர் மின்வாய் மாக்னெட்ரானைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்வதற்கு முன்பு, எலெக்ட்ரானின் வட்ட இயக்கத்தைப் பற்றிக் கணித வாயிலாகச் சிறிது பார்ப்போம்.

ஓடுகின்ற எலெக்ட்ரான் ஒரு மின்னோட்டத்தை உருவாக்குகின்றது. $e$ மின்னூட்டம் உடைய எலெக்ட்ரான் ஒரு காந்தப் புலத்தில் $v$ திசை வேகத்துடன் செல்லும் பொழுது அதன் மேல் செயல்படும் விசை $F = Hev$ என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படும். இங்கு $H$ என்பது காந்தப் புலத்தைக் குறிக்கும். ஃபிலமிங்கின் விதிப்படி இந்த விசை எலெக்ட்ரான் நகருகின்ற திசைக்கும்

காந்தப் புலத்தின் திசைக்கும் செங்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. எனவே படம் 16·6-ல் காட்டியபடி வட்ட இயக்கம் உண்டாக்குகிறது.

காந்தப் புலத்திறைல் எலெக்ட்ரானின் திசை வேகம் மாறுவதில்லை; அது மின் புலத்திறைல் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. எலெக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) மின் புலத்திறைல் செய்யப்பட்ட வேலைக்குச் சமமாகும். எனவே, $\frac{1}{2} mv^2 = e V_0$ ... (1) இங்கு $m$ எலெக்ட்ரானின் நிறையையும், $V_0$ மின் புலத்தின் மின்னழுத்த பேதத்தையும் குறிக்கின்றன. ஃபிலமென்டுக்கும் அதைச் சுற்றி உருளை வடிவிலுள்ள நேர் மின்வாய்க்கும் இடையில் மின் புலம், ஃபிலமென்டுக்கருகில் வலிமை மிக்கதாகவும் மற்ற இடத்தில் மிகவும் வலிமை குறைந்தும் உள்ளது. தோராயமாக முழு மின்னழுத்த பேதமும் ஃபிலமென்டுக்கு அருகிலேயே நிகழ்வதாகவும், அதற்கப்பால் எலெக்ட்ரான்கள் நிலையான திசை வேகம் $v$-யுடன் செல்வதாகவும் நாம் கொள்ளலாம். இந்த நிலையில் காந்தப் புலம் எலெக்ட்ரான்கள் வட்ட இயக்கப் பாதையில் செலுத்துகிறது. இந்த வட்டத்தின் ஆரம் '$r$' என்று கொண்டால்,

$$\frac{m v^2}{r} = H e v$$

$$r = \frac{m v}{H e} = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{2 m V_0}{e}} \quad \ldots \quad (2)$$

அல்லது $r \propto \frac{\sqrt{V_0}}{H}$ ... ... (3)

அலைவு நேரம் $T$ எனக் கொண்டால்,

$$2 \pi r = vT \quad \therefore \quad T = \frac{2 \pi r}{v} = \frac{2 \pi m}{H e} \quad \ldots \quad (4)$$

மேலும் இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$H = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2 m V_0}{e}}$$

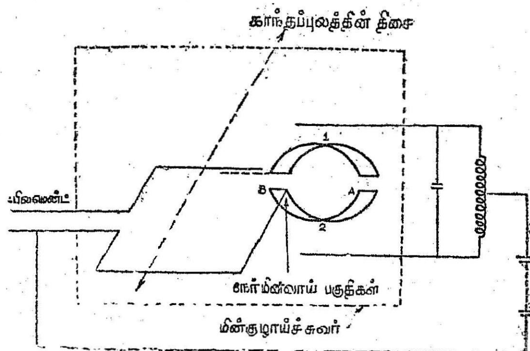
$H$-ன் மாறுநிலை மதிப்பு ஏறக்குறைய

$$H = \frac{\sqrt{180 V_0}}{d}$$

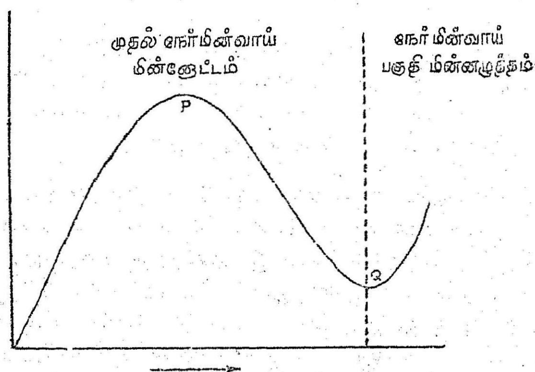
என்ற சமன்பாட்டிறைல் பெறப்படுகிறது.

இங்கு $V_0$ என்பது நேர்மின் வாய் மின்னழுத்தத்தையும் $d$ என்பது அதன் விட்டத்தையும் குறிக்கும்.

நவீன பிரிக்கப்பட்ட நேர் மின்வாய் மாக்னெட்ரான் படம் 16·8 இதைக் குறிக்கிறது.




படம் 16·8 (a)
நவீன பிரிக்கப்பட்ட நேர் மின்வாய்ப் பகுதிகள்




படம் 16·8 (b)
மாக்னெட்ரானில் எலெக்ட்ரான்களின் ஓட்டம்

வரிச் சுருளுக்குப் பதிலாகத் தற்போது காந்தப்புலம் மின் காந்தத்திலிருந்து (electro-magnet) பெறப்படுகிறது. சிற்சில சமயங்களில் நிலைத்த காந்தங்களும் பயன்படுகின்றன. தகுந்த நிலைகளில் மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ள மாக்னெட்ரான் சுற்று

100 கிலோ சுற்றுகள்/விநாடி -லிருந்து (3000 மீட்டர்கள்) 30.000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (ஒரு சென்டி மீட்டர்) வரைக் கொடுக்கிறது. பொதுவாக 30.000 கிலோ சுற்றுகளுக்குக் கீழே ஒரு பகுதியாகவும், 500 கிலோ சுற்றுகளுக்கு மேலே ஒரு பகுதியாகவும் இதைப் பிரிப்பது உண்டு. முந்தையது டைனட்ரான் அலைவுகள் (dynatron oscillations), என்றும். பிந்தையது எலெக்ட்ரானிக் அல்லது ஒத்தியைவு அலைவுகள் (eleetronic or resonance oscillations) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த இரண்டு அடுக்கங்களுக்கிடையில் நடை முறையில் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த நடுநிலை அடுக்கங்கள் (intermediate frequencies) என்பனவும் உண்டு. இந்த அலைவுகளுக்கெல்லாம் எதிர் மின் தடை (negative resistance) காரணமாகும்.

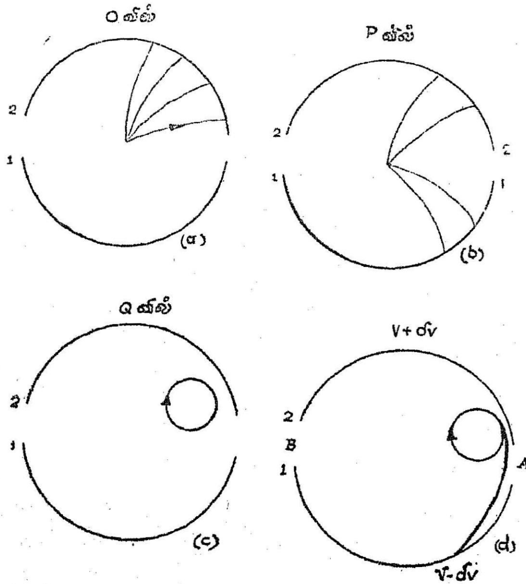
படம் 16·8 (b) ஒரு பிரிக்கப்பட்ட நேர் மின்வாய் மாக்னெட்ரானின் நிலையியல் தனிப் பண்புகளைக் காட்டுகிறது. ஒரு நேர் மின்வாய்ப் பகுதி (இரண்டாவது பகுதி என்க.) நிலையான மின்னழுத்தத்தில் வைக்கப்படுகிறது. காந்தப் புலத்தின் வலிமை மாறுநிலை மதிப்பைவிட அதிகமாக இருக்கும்படி வைக்கப்படுகிறது. நேர் மின்வாய் முதல் பகுதியின் மின்னழுத்தத்தை மாற்றி நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை அளந்தால் படத்தில் உள்ளதுபோல வரைபடம் கிடைக்கும்.

முதல் நேர் மின்வாயின் மின்னழுத்தம் குறைவாக இருக்கும் பொழுது வெகு சில எலெக்ட்ரான்களே அதை நோக்கிச் செல்லுகின்றன. படம் 16·9 (a)-ல் காட்டியபடி அதிக எலெக்ட்ரான்கள் மற்ற நேர் மின் வாய்களுக்குச் செல்லுகின்றன.

மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்பொழுது அதிக எலெக்ட்ரான்கள் கவரப்படுகின்றன (வளைகோட்டில் $P$ என்ற புள்ளி இதைக் குறிக்கிறது.) நேர் மின்வாயின் இரண்டு பகுதிகளிலும் மின்னழுத்தம் சமமாக இருக்கும்பொழுது எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு பகுதிக்கும் செல்லாமல் ஒரு வட்டப் பாதையில் செல்லுகின்றன. ஏனெனில் இப்பொழுது மாறுநிலை காந்தப் புலம் முழுமையாகச் செயல்படுகிறது படம் 16·9 (c) இந்த நிலை வளைகோட்டில் $Q$ என்ற புள்ளியாகும். வளைகோட்டில் $PQ$ என்ற பகுதி எதிர் மின்தடையைக் குறிக்கிறது. தள்ளு இழுச் சுற்றை (push pull circuit) நேர் மின்வாயின் இரு பகுதிகளுடன் இணைத்து எதிர் மின் தடையை உபயோகித்து மின் சுற்றுக்கு ஆற்றலைக் கொடுக்கலாம்.

இந்தச் சுற்றில் அலைவுகளைத் தொடர்ச்சியாகப் பெறும் முறையும் விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. ஃபிலமென்டிலிருந்து மின்

புலம் ஆரத்தின் வழியே செயற்படுகிறது. இரண்டு நேர் மின் வாய்ப் பகுதிகளும் ஒரே மின்னழுத்த பேதத்தில் இருக்கும்பொழுது




படம் 16·9.

மாக்னெட்ரானில் எலெக்ட்ரான்களின் ஓட்டம்

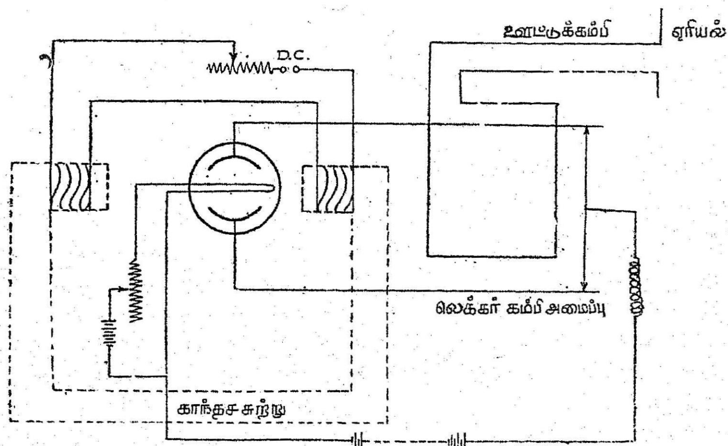
மின்புலம் சமச்சீர் (symmetrical) உடையதாக இருக்கிறது. ஓர் அலைவு ஆரம்பிக்கும்பொழுது நேர் மின்வாய்ப் பகுதிகளின் மின்னழுத்தங்கள் $(V + \delta v)$, $(V - \delta v)$ ஆக இருக்கின்றன. இரண்டு நேர் மின்வாய்ப் பகுதிகளும் வெவ்வேறு மின்னழுத்த பேதங்களில் இருப்பதால் அவற்றுக்கிடையே ஒரு புது மின்புலம் உண்டாகிறது. இது பழைய மின்புலத்துடன் ஒன்றுபடுகிறது. இதனால் மின்புலம் உருக் குலைகிறது (distorts). இந்த உருக் குலைவு $AB$ என்ற இடைவெளிகளில் மிக அதிகமாக உள்ளது. எனவே $A$-க்கு அருகே வரும் எலெக்ட்ரான் $A$யினால் விலக்கப்பட்டு, குறைந்த மின்னழுத்தமுடைய நேர் மின்வாய்ப் பகுதியை நோக்கிச் செல்லுகிறது. இதே மாதிரி புலத்தின் உருக் குலைவைப் பொறுத்து அதிக மின்னழுத்தமுடைய பகுதிக்கருகே இருந்த எலெக்ட்ரான் தன்னுடைய பாதையின் உச்சத்திலிருக்கும் பொழுது விலக்கமடைந்து மேலும் விலகிச் செல்லுகிறது.

உண்டாக்கப்பட்ட அடுக்கம் மின்குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள இசைவுச் சுற்றின் இயற்கையான அடுக்கத்தைப்

பொறுத்தே அமையும் என்பதே டைனட்ரான் அலைவுகளின் முக்கியப் பண்பாகும்.

மாக்னெட்ரான் அதிக அளவு அடுக்கங்களில் வேலை செய்தாலும் 75 செ. மீ. அல்லது அதற்குக் குறைந்த அலை நீளங்களுக்குச் சமமான அடுக்கங்களில் வேலை செய்யும்பொழுது குறிப்பிட்ட நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தில் அந்த அமைப்பு மின் காந்தப் புலத்தின் வலிமையைப் பொறுத்தே அமைகிறது. குறிப்பிட்ட நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தில் காந்தப் புலத்தை மெதுவாக அதிகரிக்கும்பொழுது அலைவுகளின் வீச்சுகள் சில அடுக்கங்களில் மிக அதிகமாகவும், மற்றவைகளில் குறைந்தும் இருக்கிறது.

குறிப்பிட்ட நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் $V$, காந்தப் புலம் $H$ ஆகியவற்றில் சில அடுக்கங்களில் சுற்று நன்கு அலைவுறுகிறது. அதாவது அடுக்கம் $f = K. \frac{V}{H}$. இங்கு $K$ என்பது ஒரு மாறிலியாகும்.



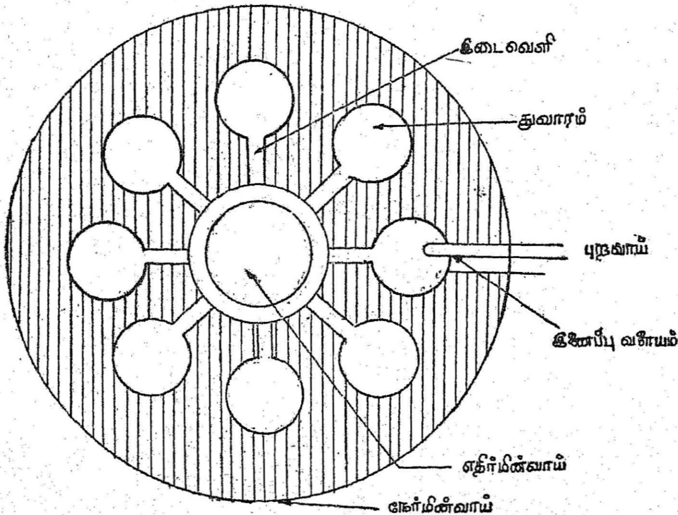

படம் 16·10.

மாக்னெட்ரான் சுற்று

சமீபத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ள மாக்னெட்ரான்களில் நேர் மின்வாய் இருபகுதிகளுக்குப் பதிலாக நான்கு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் இந்தக் குழாய்கள் ஆர்கான் போன்ற வாயுக்களால் நிரப்பப்பட்டுள்ளன எலெக்ட்ரான்கள் வட்டப் பாதையில் செல்லுவதற்குப் பதிலாகச் சுருள் வில் (spiral)

பாதையிலும் ஹெலிகல் (helical) பாதையிலும் செல்லுகின்றன. மேலும் காந்தப் புலம் அச்சுக்கிணையாக இருப்பதற்குப் பதிலாக ஒரு சாய்வான திசையிலும் செலுத்தப்படுகிறது. படம் 16·10 ஒரு முழுமையான மாக்னெட்ரான் சுற்றைக் காண்பிக்கிறது.

இதை உபயோகித்து எந்த அடுக்க அலைகளை வேண்டுமானாலும் உற்பத்திச் செய்யலாம். நேர் மின்வாய்ப் பகுதிகள் ஒரு லெஹர் கம்பி அமைப்புடன் (Lecher wire system) இணைக்கப் பட்டுள்ளன. லெஹர் கம்பி ஓர் உயர் அடுக்கச் சோக்குடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குறைந்த அடுக்கங்களை உற்பத்தி செய்ய லெஹர் கம்பிச் சுற்றுக்குப் பதிலாக ஓர் இசைவுச் சுற்றை இணைக்கவேண்டும். தற்காலத்தில் ஒத்தியைவு மாக்னெட்ரான் உட்குழிவுகள் (resonance cavity magnetrons) உபயோகத்துக்கு வந்துள்ளன. இவை உயர் கடத்திப் பொருட்களாலானவை. இவற்றுக்கு மின்காந்த ஆற்றலைக் கொடுக்கவோ அல்லது அவற்றிலிருந்து எடுக்கவோ முடியும். நேர் மின்வாய் ஒரு கனமான செப்பு உருளையால் ஆனது. இதில் ஆரங்களின் திசையில் இடைவெளிகளும் உருளை வடிவில் துவாரங்களும் நேர் மின்வாய்க்கும் எதிர் மின்வாய்க்கும் இடையிலுள்ளன. இடைவெளி துவாரப் பகுதிக்கு உட்குழிவு என்பது பெயர். இவற்றின் அமைப்பு படம் 16·11-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 16·11.
மாக்னெட்ரான் உட்குழிவுகள்

இந்த உட்குழிவுகள் ஒத்தியைவுச் சுற்றுகளாகத் தொழிற்படுகின்றன. இடைவெளிகள் (slots) மின் தேக்கிகளாகவும் (capacitances), துவாரங்கள் (holes) மின் நிலைமங்களாகவும் (inductances) தொழிற்படுகின்றன. காந்தப் புலம் செயற்படும்பொழுது நேர் மின்வாயின் ஒரு திசை மின்னழுத்தத்தில் எலெக்ட்ரான் வட்டப் பாதையில் செல்லுகின்றது. எலெக்ட்ரான்கள் கூட்டங் கூட்டங்களாக ஒத்ததிர்வின் (resonator) இடைவெளிகளைக் கடந்து செல்கின்றன; அப்படிச் செல்லும்பொழுது ஒத்ததிர்வுக்கு ஆற்றலைக் கொடுக்கின்றன. இந்த இடைவெளிகளுள் ஒன்றில் ஒரு கம்பியாலான வளையம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் வழியாக ஆற்றல் வெளியேற்றப்படுகிறது. இந்த உட்குழிவை உபயோகித்து 9,500 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அலைவுகளை உண்டாக்கலாம்.

கிளைஸ்ட்ரான் அலைவியற்றி, மாக்னெட்ரான் அலைவியற்றி ஆகியவை மைக்ரோ அலைகள் அலைவியற்றிகளாகும். அதிக அடுக்கங்களில் சாதாரண மின்குழாய்கள் அவ்வளவாகப் பயன்படுவதில்லை. ஏனெனில் அதிக அடுக்கங்களில் அக மின் தேக்கிகளும், அக மின் நிலைமங்களும் (internal capacitances and internal inductances) இடையூறு விளைவிக்கின்றன. மேலும் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு மின்வாயிலிருந்து வேறொரு மின்வாய்க்குச் செல்லுகின்ற நேரமும் ஆற்றலை விரைக்குகிறது. மேலும் மிக உயர்ந்த அடுக்கங்களில் மின்குழாயின் பரிமாணம், அத்துடன் சேர்ந்த சுற்றுகளின் பரிமாணம் ஆகியவை அலைகளின் நீளத்திற்கு ஒப்பாகின்றன. எனவே இவைகளும் ஆற்றல் விரயமாக்கக் காரணமாகின்றன. அக்கார்ன் (acorn), கலங்கரை விளக்கம் (light house) மின்குழாய்கள் 300 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-யிலிருந்து 20,000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி வரை நன்றாகத் தொழிற்படுகின்றன. மைக்ரோ அலைப்பகுதியில் 2000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-யிலிருந்து 30,000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி வரை (30 பில்லியன் சுற்றுகள் வரை) அடுக்கங்கள் உள்ள அலைவுகளை உற்பத்தி செய்யப் புது வகை மின்குழாய்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. இவைகளில் கிளைஸ்ட்ரான்களும், மாக்னெட்ரான்களும் சிறந்தவையாகும்.

## படிப்பதற்குரிய நூல்கள்


1. Radar — *R. S. H. Bouldning*
2. Microwave magnetism — *Collins*
3. Hand book of electronics — *Admiralty*
4. Radio Engineering and electronics — *Terman*

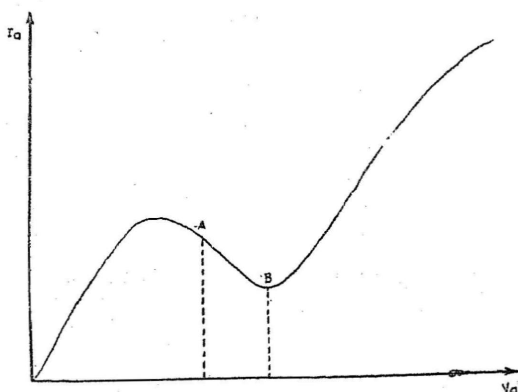
# 17. துவக்கிச் சுற்றுகளும் துடிப்புச் சுற்றுகளும்

## (Trtgger and Pulsing Circuits)

தளர் அலைவியற்றிகள் (relaxation oscillators), எதிர் மின் தடை அலைவியற்றிகள் (negative resesistance oscillators) ஆகிய வற்றுடன் கூடத் துவக்கிச் சுற்றுகளும் (trigger circuits) எலெக்ட்ரான் இயலில் மின்னோட்டத்தைச் தூண்டுவதற்கும், துடிப்புச் சுற்றுகளிலும் (pulsing circuits) அதிக அளவில் பயன் படுகின்றன. எனவே இத்தகைய சுற்றுகளைப் பற்றி நாம் தெரிந்து கொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

துவக்கிச் சுற்றுகளில் மின் குழாய்கள் பயன்படுகின்றன. மின் சுற்றுப் பகுதிகளின் குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்கும் குறிப்பிட்ட மின் அழுத்தங்களுக்கும் இரண்டு உறுதியான நிலைகள் கிடைக்கின்றன. மின்னழுத்தங்கள், மின்னோட்டங்கள் ஆகியவை இத்தகையச் சுற்றுகளில் குறிப்பிட்ட மாறுநிலை மதிப்புகளில் ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்குச் செல்லவோ, அல்லது வேறொரு குறிப்பிட்ட மாறுநிலையிலிருந்து திரும்பவும் பழைய நிலைக்கு வரவோ, தகுந்த முறையில் இத்தகையச் சுற்றுகள் அமைகின்றன, மின்னோட்டம், மின் தடை ஆகியவற்றுக்கிடையேயான பண்பியல் வளைகோட்டில் எதிர்மின் தடைப் பகுதியுடைய ஒரு மின்குழாய், ஒரு துவக்கச் சுற்றில் பயன்பட உகந்ததாகும். இத்தகைய தன்மையைத் திரை கிரிடு மின்குழாயின் (screen grid value) நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம், மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றுக்கிடையேயான பண் பியல் வளைகோட்டில் காணலாம்.

படம் 17·1-லுள்ள பண்பியல் வளைகோட்டில் *A*, *B* என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே கோட்டின் வாட்டம் (slope) எதிரினமா யுள்ளது. *A*, *B* -களுக்கிடையே மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்

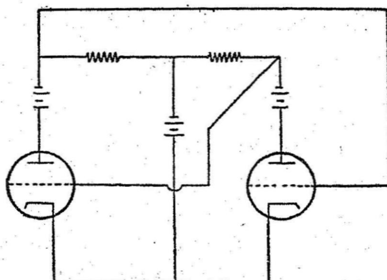



படம் 17·1.

திரை கிரிடு மின்குழாய் பண்பியல் வளைகோடு

பொழுது மின்னோட்டம் குறைகிறது. எனவே, மின் குழாய் எதிர் மின் தடையைப் பெற்றிருக்கிறது, எனினும் நவீன காலத்தில் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்ற திரை கிரிடுக் குழாய்கள் துவக்கிச் சுற்றுகளில் அவ்வளவாகப் பயன்படுவதில்லை.

படம் 17·2-ல் ஒரு துவக்கிச் சுற்றின் எளிய அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது.



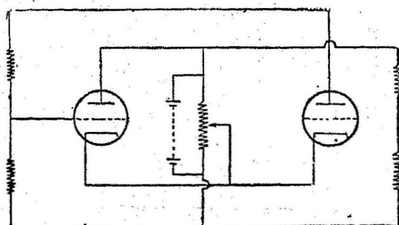
படம் 17·2

துவக்கிச் சுற்று

இரு மின்குழாய்களும் ஒன்று மாற்றி ஒன்று செயற்படுகின்றன. ஒரு சமயத்தில் ஒரே ஒரு மின்குழாய்தான் நேர் மின் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துகிறது. ஒரே சமயத்தில் இரண்டு மின்குழாய்களும் மின்னோட்டத்தைக் கடத்துவதாகக் கொள்வோம். அப்

பொழுது ஒன்றில் ஏற்படுகின்ற மின்னோட்ட அதிகரிப்பு இணைப்புச் சுற்றில் மின்னழுத்த பேதத்தை உண்டாக்குகிறது, எனவே அடுத்த மின் குழாயிலுள்ள கிரிடு எதிர் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கிறது; நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் குறைகிறது. (அதாவது ஒரு மின்குழாயில் மின்னோட்டம் அதிகரித்தால் மற்றொன்றில் குறைகிறது.) அதனால் இணைப்பு மின் தடையில் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. இது மறுபடியும் முதல் மின்குழாயின் கிரிடு எதிர்மின் அழுத்தத்தைக் குறைக்கிறது. இந்த நிகழ்ச்சி, திரளாகச் சேருகின்ற (cumulative) முறையில் நடைபெறுகிறது. ஆகவே ஒரு மின்குழாய் முழு அளவில் கடத்தும் பொழுது மற்றொரு மின் குழாய் முழுமையாக நின்றுவிடுகிறது. இந்தச் சுற்று, பல்லியல் அதிர்வி (multi-vibrator), கிப் அஞ்சல் (kipp relay) ஆகியவற்றில் பயன்படுகிறது.

நடைமுறையிலுள்ள ஒரு துவக்கிச் சுற்று படம் 17·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



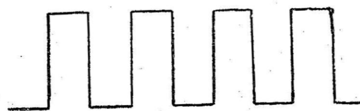
படம் 17·3

நடைமுறைத் துவக்கிச் சுற்று

படம் 17·2-லுள்ள மின்கல அடுக்குகள் இங்குப் பயன்படவில்லை; பதிலாக, தகுந்த மின் தடைகளை உபயோகித்து அவற்றைத் தக்க முறையில் இணைத்துச் சரியான கிரிடு மின்னழுத்தங்கள் பெறப்படுகின்றன. ஒரு மின்மாற்றி அல்லது ஒரு மின் தேக்கி ஆகியவற்றிலிருந்து கிடைக்கின்ற மின்னழுத்தம் அல்லது மின் சுற்றுகளிலுள்ள மின் தடைகளிலேற்படும் திடீர் மாறுதல்கள் இந்தச் சுற்றை இயக்குவிக்கும். துவக்கிச் சுற்றுகள் துடிப்புகள் நேரத்தை அதிகம் ஆக்கவும், மின்னோட்டத்தால் செயற்படுகின்ற கருவிகளை இயக்கவும் பயன்படுகின்றன. மேலும் மேலே கூறப்பட்ட சுற்றுகளை அநேக மாறுதல்களுக்குட்படுத்தி நமக்கு வேண்டியவாறு செயல் புரிய வைக்கலாம்.

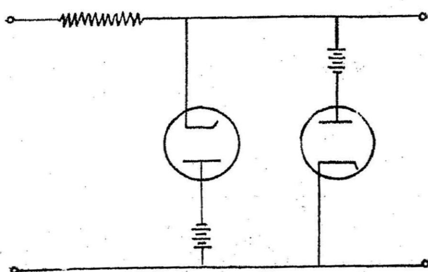
**நேர்த்திசை மின்னோட்டத் துடிப்புகள்**

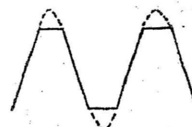
இந்த அத்தியாயம் முழுவதும் துடிப்பு என்பது நேர்த்திசை மின்னழுத்தத் துடிப்புகளையேக் குறிக்கும். அவை,



படம் 17·4.

ஒரு திசைத் துடிப்பு





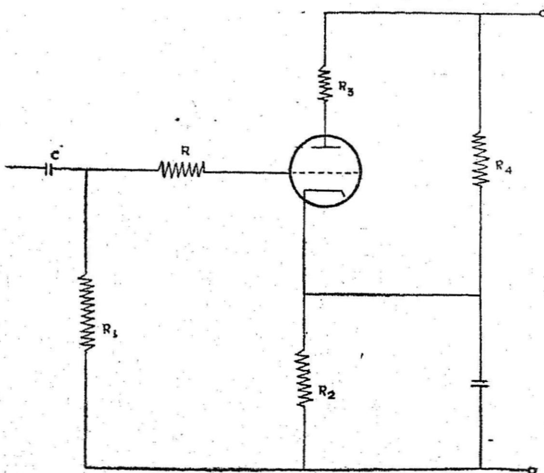
படம் 17·5.

செவ்வகத் துடிப்பு இயற்றி

படம் 17·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போல் உச்சநிலையை யடைந்து, அதில் சிறிது நேரம் மாறிலியாக இருந்து பிறகு குறைகின்றன. ரேடியா அடுக்கத் துடிப்புகளைப் பற்றிப் பிறகு பார்ப்போம்.

எளிய நீண்ட சதுர அலைவுகளைப் படம் 17·5-ல் காட்டியுள்ள அமைப்பைக் கொண்டு பெறலாம். இங்கு $V_1$, $V_2$ என்ற இருடயோடு மின்குழாய்களின் நேர் மின்வாய்களுக்கு நிலையாக மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன; அதாவது படத்தின் இடப்பக்கத்தில் கொடுக்கப்படும் மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு ஏறக்குறைய தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படும் எதிர் மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாகும் வரையில், இரண்டில் எந்த மின்குழாயும் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தாது. மாறுதிசை மின்னழுத்தம் தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கு எதிரான குறியீடு உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்பதையும் இங்குக் குறிப்பிட

வேண்டும். வெளிவரு அளவு (output) மின்னழுத்தத்துடன், உள்ளிடு அளவு (in put) மின்னழுத்தமும் சமமாகும் வரையில் அதிகரித்து, அந் நிலையில் மின்குழாய் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த ஆரம்பிக்கிறது. $R$ என்ற மின்தடையில் ஏற்படும் மின்னழுத்த பேதம் உள்ளிடு அளவு மின்னழுத்தம் மேலும் அதிகரிப்பதைத் தடுக்கிறது. அடுத்த அரைச் சுற்றில் அடுத்த மின்குழாய் கடத்துவதன் பயனாக இதே நிகழ்ச்சித் தொடர்கிறது. மறுபடியும் வெளிவிடு அளவு மின் அழுத்தம் ஒரு நிலைக்குமேல் உயராமல் தடை செய்யப்படுகிறது. வெளிவரும் நீண்ட சதுர வடிவ மின்னழுத்தம் படம் 15·5-ல் வலப் பக்கத்தில் தடித்த கோட்டினால் காட்டப்பட்டுள்ளது. வெளிவரு அளவு மின்னழுத்தத்தின் வீச்சு அதிகமாக அதிகமாக, அலையின் அமைப்பும் நீண்ட சதுர வடிவத்திலிருந்து அதிகமாக மாறுபட்டிருக்கும். எனவே சிறிதளவு வெளிவரு அளவு மின்னழுத்தத்தை, பிறகு வேறொரு டயோடு மின் சுற்றில் செலுத்திப் பெருக்க வெளிவரு மின்னழுத்தத்தை உண்மையான நீண்ட சதுர வடிவத்திற்குக் கொண்டு வரலாம்.



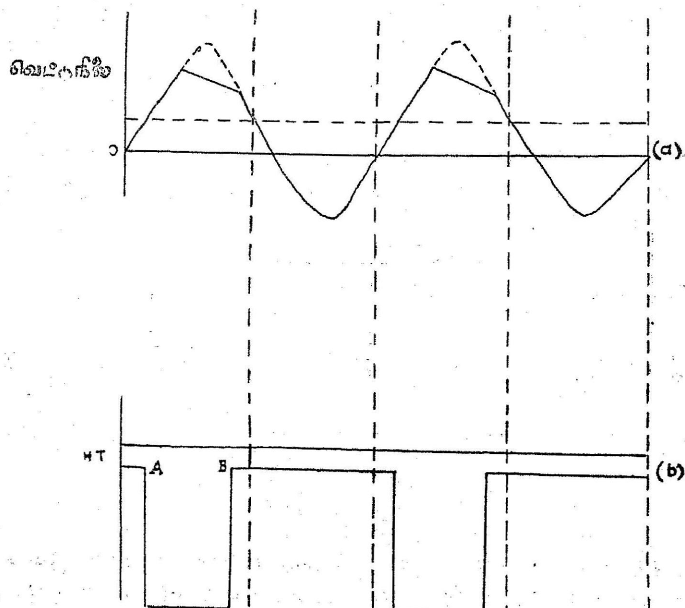

படம் 17·6.

சதுர அலை வியற்றி

சதுர அலைகளை உண்டாக்குகின்ற வேறொரு மின்சுற்றின் அமைப்பு, படம் 17·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

படம் 17·6-ல் மின்குழாயின் கிரிடுக்கு தகுந்த மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. மின்குழாய் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தின் வெட்டுநிலை (cut off)-ல் இருக்குமாறு $R_2$, $R_4$ ஆகிய மின்தடைகளின் மதிப்புகள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. $C$ என்ற மின்தேக்கி வழியாகக் கிரிடுச் சுற்றுக்கு ஒரு சைன் (sine) வடிவ மின்னழுத்தத்தைக் கொடுப்பதாகக் கொள்வோம். இரு திசை மின்னழுத்தம் சுழியிலிருந்து உயர்கின்ற நிலையைக் கவனிப்போம். வெட்டு நிலையை அடைகிற வரையில் கிடிரின் மின்னழுத்தமும் சைன் அலைவுடன் அதிகரிக்கும். இந் நிலையில் மின்குழாய் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த ஆரம்பிக்கும். இந் நிலையில் $R_3$ என்ற மின்தடையில் ஒரு மின்னழுத்த பேதம் உண்டாகும். எதிர் மின்வாயின் மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாக கிரிடின் மின்னழுத்தம் ஆகும் வரையில் இந்த அதிகரிப்பு நீடிக்கும். பிறகு கிரிடு மின்னோட்டம் ஆரம்பிக்கிறது. இதனால் $C$ என்ற மின்தேக்கியின் தகடுகள் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன. கிரிடை அடுத்துள்ள மின்தேக்கியின் தகடு எதிர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. மின்தேக்கி $C_1$ மின்தடை $R_1$ ஆகியவற்றின் குறிப்பிட்ட மதிப்புகள் கிரிடு மின்னழுத்தம் மேலும் அதிகரிப்பதைத் தடுக்கின்றன. சைன் அலையின் உச்சிப்பகுதி $R$ என்ற மின் தடையினால் கவரப்படுகிறது. கிரிடு, எதிர் மின்வாய் இரண்டும் சேர்ந்து ஒரு டயோடாகச் செயல்பட்டு படம் 17·5-ல் காட்டியதைப் போல் உள்ளிடு சைன் மின்னழுத்தத்தைக் கட்டுப்படுத்துகின்றன. இங்கு நிகழ்கின்ற உள்ளிடு மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் படம் 17·7 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. உள்ளிடு மின்னழுத்தத்தின் ஒவ்வொரு சுற்றின் நேர்க்குறியில் ஒரு சிறிய பகுதியில் மட்டுமே மின்குழாய் கடத்தும் நிலையிலிருப்பதால், நேர் மின்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டம் $R_3$ என்ற மின்தடையில் படம் 17·7 (b)-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் மின்னழுத்த அலைகளை உண்டாக்குகிறது.

மின்குழாய் வெட்டுநிலைக்குக் கொண்டு செல்லப்படுவதற்கு முன்பு நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் சுழியாகின்றது. நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் உயர் மின்னழுத்த நிலையை (H. T. level) அடைகிறது. எனவே $R_3$ என்ற மின்தடையில் மின்னழுத்த பேதம் ஏதுமில்லை. கிரிடில் மின்னழுத்தம் வெப்ப நிலையிலிருந்து சுழி மதிப்பிற்கு அதிகரிக்கும்பொழுது நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் திடீரென உயர்ந்து $R_3$ என்ற மின்தடையில் ஒரு மின்னழுதத பேதம் விரைவில் உண்டாகிறது. படத்தில் $A$ என்ற புள்ளியில் இது நிகழ்கிறது. இப்பொழுது கிரிடு மின்னோட்டம் கிரிடு மின்னழுத்த்தை ஒடுக்கி நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்தை ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் மாருமல் வைக்கிறது. கிரிடு மின்னழுத்தம் சுழியாகும்




படம் 17·7
சைன் அலையும், செவ்வக அலையும்

வரையில் இதே நிலைமை நீடிக்கிறது. கிரிடு மின்னழுத்தம் சுழியாகும் பொழுது நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் வெகு வேகமாகக் குறைந்து நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் உச்ச மின்னழுத்தத்தின் முழு அளவிற்குத் திடீரென உயருகின்றது. படத்தில் இது $B$ என்ற புள்ளியில் நிகழ்கிறது. நேர் மின்வாய் மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் (இவைதாம் தேவையான செவ்வக வடிவ துடிப்புகள் ஆகும்.) ஒப்பு நிலைமை கிரிடு மின்னழுத்த வேறுபாடுகளுக்கு (corresponding grid fluctuations) 180° கட்ட பேதத்தில் (phase difference) அடைந்துள்ளது குறிப்பிடத் தக்கது.

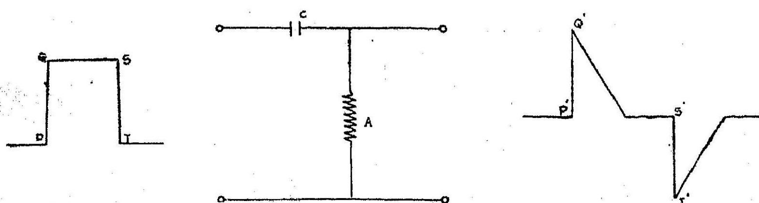
இந்த மின் சுற்றிலும் டயோடு மின் சுற்றைப்போல் துடிப்புகள் பெருக்கப்பட வேண்டும். சாதாரணமாக, மின்தடை மின்தேக்கி இணைப்புப் பெருக்கியை (resistance — capacity coupled amplifier) இதற்குப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால் துடிப்புகள் உருக்குலையாத வாறு பார்த்துக்கொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

**குறைந்த நேரத் துடிப்புகள்** (Short duration pulses)

இதுகாறும் கூறப்பட்ட நீண்ட செவ்வக வடிவத் துடிப்புகளிலிருந்து மிகக் குறுகிய நேரத் துடிப்புகளைப் படம் 17·8-ல் காட்டி

யுள்ள மின்தடை — மின்தேக்கி சுற்றைப் பயன்படுத்தி உண்டாக்கலாம்.

இந்தச் சுற்றில் $R$, $C$ ஆகியவை மிகக் குறைந்த மதிப்புடையவை. இந்தச் சுற்றில் உள்ளிடு நேர் மின்னழுத்தம் திடீரென மாறினல் மின்தேக்கி அடுக்குக் குறி முறையில் (exponentialy) மின்னூட்டமோ, மின்னிறக்கமோ அடைகிறது. $PQST$ என்ற



படம் 17·8.

பகு மின் சுற்று

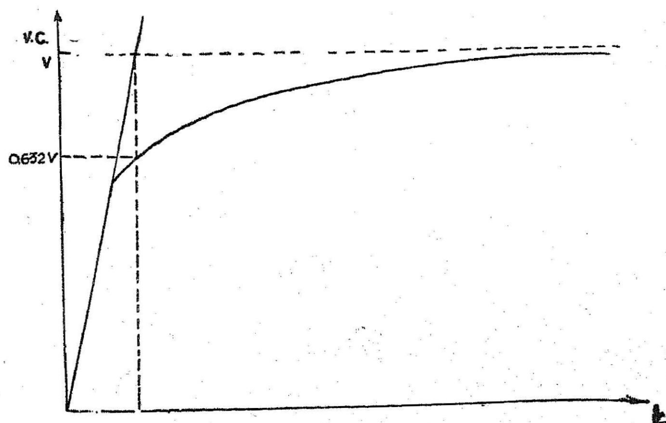
ஒரு சதுர வடிவ அலை, உள்ளிடு பகுதியில் கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம், பிறகு வெளிவிடு பகுதியில் கிடைக்கும் ($R$ என்ற மின்தடையில்) மின்னழுத்தம் அதன் வழியே ஓடுகின்ற மின்னேட்டத்தின் அமைப்பை எல்லா விதத்திலும் ஒத்திருக்கும். இந்த சதுர வடிவ அலையை மின்தேக்கி $C$-க்குக் கொடுக்கும்பொழுது, அதன் தகடுகளுக்கிடையே மின்னழுத்தம் திடீரென உச்சநிலையை அடையாமல், $C$, $R$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பொறுத்து ஒரே சீராக உயருகிறது. $t$ விநாடிகளுக்குப் பிறகு மின்தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் $V_e$ ஆனது $V_e = V(1 - e^{-t/CR})$ என்ற சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகிறது. இங்கு $V$ ஆனது கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தின் உச்ச மதிப்பாகும். $C = 2{\cdot}7183$ ...... . "$t$"-ன் மதிப்பை $CR$-ன் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாக்கினுல்,

$$\begin{aligned} V_e &= V(1 - e^{-1}) \\ &= V(1 - 0{\cdot}3679) \\ &= 0{\cdot}6321V \end{aligned}$$

அதாவது மின்தேக்கி $CR$ விநாடிகளில் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தில் $\frac{2}{3}$ பங்கு அடைகிறது.

மின்னழுத்தம் $V_e$-க்கும், நேரத்திற்குமுள்ள தொடர்பு, படம் 17·9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு நேர் மின்னழுத்தத்துடனும் மின்தடையுடனும் தொடர் இணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தேக்கி ஒன்றில் மின்னழுத்தம் உயரும் விதத்தை இந்தப் படம் காட்டுகிறது. வளைகோடு அடுக்குக் குறி முறையில் இல்லாமல் நேர்க்கோடாக இருக்குமானால் மின்தேக்கி CR விநாடிகளுக்குப் பிறகு முழுவதுமாக மின்னூட்டம் பெற்றுவிடும். படம் 17·8-ல் காட்டப்

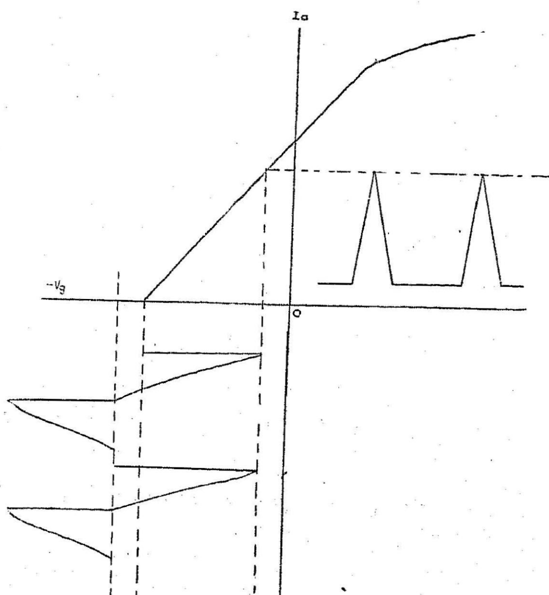



மின்னழுத்த கால வளைகோடு

படம் 17·9.

பட்டுள்ள C, R இவற்றின் மதிப்புகள் மிகக் குறைவு எனக்கொள்வோம், பிறகு நேர மாறிலி (time constant)யும் சிறிதாகவே இருக்கும். திடீரென்று உயருகின்ற மின்னழுத்தம் PQ, R-ன் வழியே C-க்கு அதிக மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தும். R-க்கிடையில் உண்டாகும், மின்னழுத்தம் PQ என்ற செங்குத்தக் கோட்டினால் குறிக்கப்படும். மின்தேக்கி அதிவேகத்தில் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. எனவே மின்னூட்ட மின்னோட்டம் (charging current) QS விநாடிகளுக்கு அதே நிலையிலிருந்து பிறகு சுழியாகிறது. மின்தேக்கியின் மின்னழுத்தம் சதுரநிலை மின்னழுத்தத்திற்கு இப்பொழுது சமமாகும். R-க்கு இடையில் மின்னழுத்தம் இல்லை. ST-ல் வெளிவரும் மின்னழுத்தம் சுழியாகும்பொழுது மின்தேக்கி மின்னிறக்கமடைகிறது. R-ன் மின்னழுத்தம் திடீரென எதிர்த் திசையில் ST-க்கு உயருகிறது. மறுபடியும் மின்னோட்டம் சுழியாகிறது, அடுத்தத் துடிப்பு வரும் வரையில் மின்சுற்று அமைதியாயிருக்கிறது, இந்நிகழ்ச்சிகள் திரும்பத் திரும்ப நிகழ்கின்றன.

மேற்கண்ட அமைப்பிலிருந்து கிடைக்கும் ஈட்டி முனை போன்ற துடிப்புகளை (spiky pulses) நேர் மின்வாய் மின்னழுத்த வெட்டு நிலைக்கு அப்பால் இயங்கும் மின்குழாய்களுக்குள் செலுத்தி இன்னும் சிறிய துடிப்புகளைப் பெறலாம். இம்முறை படம் 17·10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஈட்டி முனைத் துடிப்புகளின் மிகக் குறுகிய



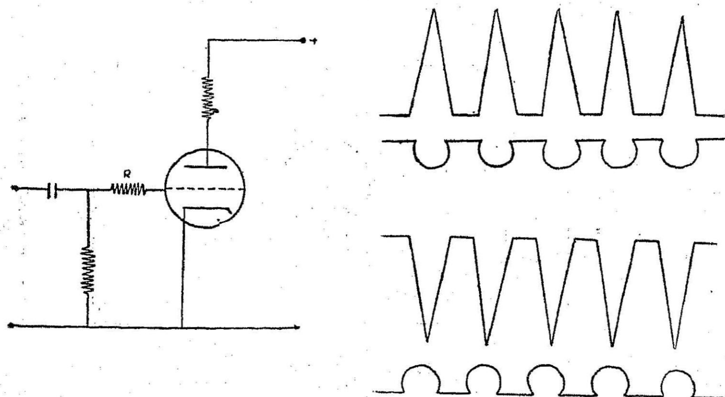

படம் 17·10.

ஈட்டி முனைத் துடிப்புகள்

முனைகள் மட்டுமே நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. இதன் விளைவாக நேர் மின்வாய் மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் மிகக் குறுகிய எதிர்க் குறித் துடிப்புகளாக (negative going pulses) மாறுகின்றன. இந்த முறையில் எல்லா எதிர்த் திசைத் துடிப்புகளும் அமுக்கப்படுவதால் நேர் மின்வாய் நிலையில் மாறுதலேற்படுவதில்லை.

படம் 17·11-ல் காட்டியபடி ஈட்டி முனைத் துடிப்புகளை மின் குழாய்க்குள் தக்கபடி செலுத்தி அவற்றின் வடிவைச் செவ்வக வடிவமாக்கலாம். ஈட்டி முனைத் துடிப்பு நேர்த் திசைத் துடிப்பாகயிருந்தால் கிரிடுச் சுற்றில் ஒரு மின் தடையை இணைத்து, துடிப்பின்

உச்சி நீக்கப்படுகிறது; இந்த மின்தடைத் துடிப்பின் நேர்க்குறியை கிரகித்து விடுகிறது. ஈட்டி முனைத் துடிப்பு எதிர்த்திசைத் துடிப்பாக யிருந்தால் கிரிடுச்சுற்றில் மின்தடை $R$ தேவையில்லை. மின் குழாயை நேர்மின்வாய் மின்னோட்ட வெட்டுநிலைக்கு அப்பாற் செலுத்தி துடிப்பின் முனையை வெட்டிவிடலாம். கிரிடு நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தங்களின் அலை உருவங்கள் படம் 17·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.



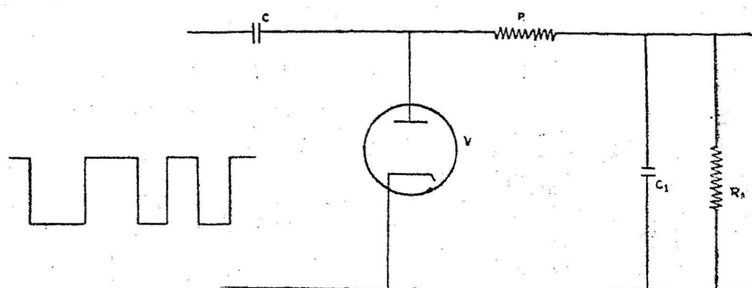

படம் 17·11.
கிரிடு, நேர் மின்வாய் அலை வடிவங்கள்

தொகுத்தல் (Integration)

கணிதத்தில் தொகுத்தல் என்பது, பகுத்தலின் எதிர்ப் பத மாகும். பகுத்தல் (Differentiation) என்பது எல்லையற்ற பிரிவு களாகப் பிரித்தலைக் குறிக்கும்பொழுது, தொகுத்தல் (Integration) என்பது எல்லையற்றப் பகுதிகளை ஒன்றாகச் சேர்த்தலைக் குறிக்கும். நீண்ட நேர செவ்வகத் துடிப்புகளிலிருந்து, குறுகிய கால ஈட்டி முனைத் துடிப்புகளைப் பகு மின் சுற்று உண்டாக்குகிறது எனப் பார்த்தோம். தொகு மின் சுற்று இதற்கு எதிர்மாறான செயலைச் செய்கிறது. அநேகக் குறுகிய நேரத் துடிப்புகளிலிருந்து, ஏற்கெனவே தீர்மானிக்கப்பட்ட ஒரு நிலையான மின்னழுத்தத் தைத் தொகு மின் சுற்று தயாரிக்கிறது.

படம் 17·12-ல் பல எதிர்த்திசைத் துடிப்புகள் $C$, $R$, $C_1$, $R_1$, $V$ ஆகியவை அடங்கிய ஒரு தொகுமின் சுற்றுக்குக் கொடுக்கப் படுகின்றன. ஒவ்வொரு துடிப்பின் ஆரம்பத்திலேயும் மின்தடை $R$-ன் வழியே ஒரு மின்னோட்டம் சென்று மின்தேக்கி $C$-க்கு எதிர்

மின்னூட்டத்தை அளிக்கின்றது. ஒவ்வொரு துடிட்பும் முடியும் பொழுதும், அதாவது நேர்த்திசைத் துடிப்பு ஆரப்பிப்பதற்கு முன்னல், மொத்தத் துடிப்பு மின்னழுத்தம் $R_1$ $C_1$ ஆகியவற்றிற் கிடையே பிரிக்கப்படுகிறது. துடிப்பு உயரும்பொழுது, மின் குழாயின் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தமும் உயர்கின்றது. அதற்குள் மின்குழாய் கடத்த ஆரம்பித்து விடுவதால் இந்த நேர்மின்வாய் ஏறக்குறைய புவி மின்னழுத்தத்தில் இருக்கும்பொழுது மின்தேக்கி *C* மின்னூட்டம் பெறுகின்றது. எனவே அதன் தகடுகளுக்கிடையே




படம் 17·12.

தொகு மின் சுற்று.

ஒரு மின்னழுத்தம் ஏற்படுகின்றது. இப்பொழுது நேர்மின்வாய் *V* புவி மின்னழுத்தத்திலிருக்கிறது. மின்தேக்கி $C_1$-ல் மீந்த மின்னூட்டம் (residual charge) உள்ளது. மின்தேக்கி *C*-ல் உள்ள மீந்த மின்னூட்டம், மின்தேக்கி $C_1$-ல் உள்ள மீந்த மின்னூட்டத்தை ஈடு செய்கின்றது. ஆனல் அவைகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத் தங்கள் சமமாய் இருப்பதில்லை.

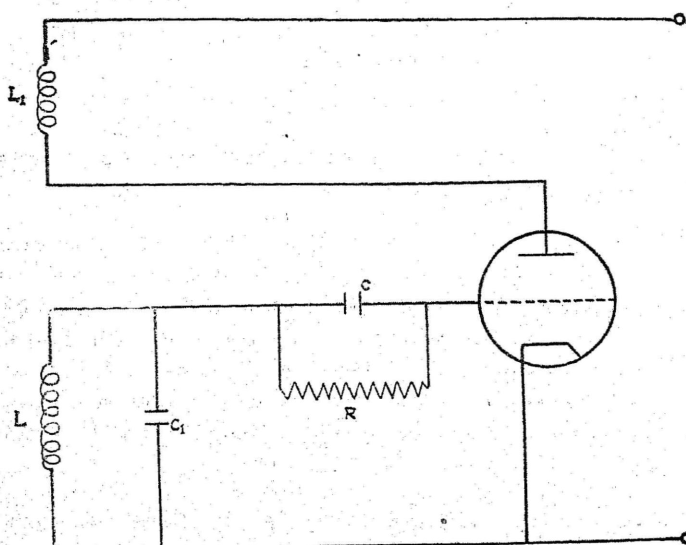
இந்தச் சுற்றில் அடுத்தத் துடிப்பு வரும்பொழுது டயோடு மின் குழாயின் நேர் மின்வாய் அதே அளவு எதிர் மின்னழுத்தத் தைப் பெறுகின்றது. இந்த மின்னழுத்தத்திற்கும் மின் தேக்கி $C_1$-ன் மேலுள்ள தகட்டின் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு காரணமாக மின்தடை *R* வழியே $C_1$-க்கு ஒரு மின்னேட்டத் துடிப்புச் செல்கிறது. இது மின் தேக்கி $C_1$-ல் உள்ள மின்னேட் டத்தை முன்பு இருந்ததைவிட மேலும் உயர்த்துகிறது. மின் சுற்றுக்குத் துடிப்புகளைத் தொடர்ந்து கொடுத்துக் கொண்டே இருந் தால் இந்த முறை திரும்பத் திரும்ப நிகழ்கிறது. மின் தேக்கி $C_1$ மேலும் மேலும் மின்னூட்டம் பெறுவதால் ஒவ்வொரு துடிப்பின் பொழுதும் *R*-ன் வழியே மின்னேட்டத்தை செலுத்துவதற்கான மின்னழுத்தம் படிப்படியாகக் குறைகிறது. இறுதியாகச் சுற்று

மின்னூட்டம் பெறுகின்ற அதே விகிதத்தில் $R$-ன் வழியே $C_1$-ன் உள்ள மின்னூட்டம் இறக்கமடைகிறது. இவ்வாறு உள்ளிடு பகுதியில் ஒரு சமநிலை ஏற்படுகிறது. இவ்வாருக நேரமாறிலி $C_1$ $R_1$ ஐத் தகுந்தபடி தேர்ந்தெடுத்து வெளிவரு மின்னழுத்தம் குறிப்பிட்ட வீச்சுடையத் துடிப்புகளின் அடுக்கத்திற்கு நேர் விகிதத்திலோ, அல்லது குறிப்பிட்ட அடுக்கத்திலுள்ள துடிப்பு களின் வீச்சுகளுக்கு நேர் விகிதத்திலோ, இருக்குமாறு செய் யலாம்.

**தளர் அலைவியற்றிகள்** (Relaxtion oscillators)

குறுகிய நேரமுடைய துடிப்புகளைத் தளர் அலைவியற்றிகளைப் பயன்படுத்தியும் உண்டாக்கலாம். இங்கு மின் குழாய்க்குத் தகுந்த கிரிடு மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்து ஒரு சுற்றுக்குப் பிறகு சைன் வடிவ அலையை முழுவதும் நீக்குகிறோம். இதே நிலை சிறிது நேரம் நீடிக்கிறது. பிறகு குறுகிய மின்னழுத்தத் துடிப்புகள் உண்டாக்கப் படுகின்றன. இந்தச் சுற்றின் இயைவு அடுக்கத்தை மிகவும் அதிக மாக்கி மிகக் குறுகிய நேரமுடைய துடிப்புகளை உண்டாக்கலாம். இந்த வகையில் மூன்று முக்கியமான அலைவியற்றிகள் உள்ளன.

தடுப்பு அலைவியற்றி (blocking oscillator) என்பது முதல் வகையைச் சேர்ந்தது. இதனுடைய அமைப்பு படம் 17·13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




**படம் 17·13.**

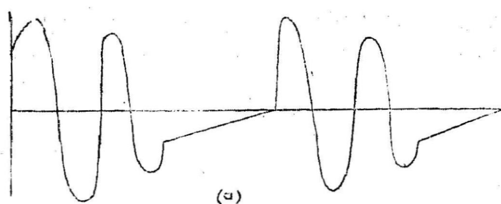
தடுப்பு அலைவியற்றி.

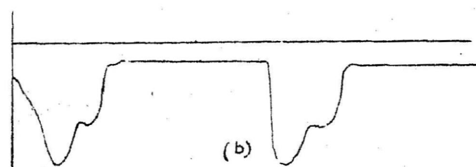
மின் சுற்றிலிருந்து மின் குழாய் மின்னூட்டம் கொடுக்கப் படுகிறது என்பது விளங்கும். இந்த மின்னூட்டம் நேர் மின்வாயி லிருந்து கிரிடுக்குக் கொடுக்கப்படுகின்றது. கிரிடோடு கிரிடுக் கசிவு $R$, மின் தேக்கி $C$ ஆகியவை இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தச் சுற்றின் தொழிற்படு திறன் $C$, $R$ இவற்றின் மதிப்புகளையும், $L$, $L_1$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள இணைப்பையும் பொறுத்தது. $LC_1$ என்ற பெருக்கற் பலனின் மதிப்பைப் பொறுத்து இந்த சுற்று சைன் வடிவமுள்ள தொடர்ச்சியான அலைவுகளை உண்டாக்க முடியும். அல்லது $CR$-ன் மதிப்பைப் பொறுத்து அலைவுகளைச் சிறு சிறு குவியல்களாக விட்டு விட்டு உண்டாக்க முடியும். இந்த நிலைக்குத் தாமதத் தடுப்பு (squegging) என்பது பெயர். இது தடுத்தலினின்றும் (blocking) வேறுபட்டது. தடுத்தலின் அலைவுகள் ஓர் அரைச் சுற்றுக்குப் பிறகு நிறுத்தப்படுகின்றன. ஆனால் தாமதத் தடுப்பில் அலைவுகள் பல சுற்றுகளுக்குப் பிறகு தடுக்கப்படுகின்றன.

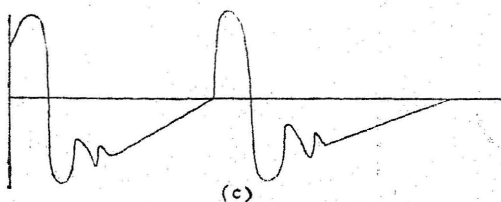
இப்பொழுது இந்தச் சுற்றுத் தொழிற்படும் முறையைக் கவனிப் போம். கிரிடுச் சுற்று இசைவுப் பகுதிகள் $L$, $C$ ஆகியவற்றின் மதிப்பைப் பொறுத்து $L$ என்ற சுற்றிலிருந்து நிகழும் மின்னூட்டத் தினுல் மின் குழாய் அலைவுற ஆரம்பிக்கிறது. இந்த அலைவுகளின் வீச்சு வெகுவாக அதிகரிக்கின்றது. அவை அவ்வாறு அதிகரிக்கும் பொழுது கிரிடு மின்னேட்டம் கிரிடு திருத்தல் பண்பின் காரண மாக நிகழ்கிறது. பிறகு சராசரி கிரிடு மின்னழுத்தம் வெகுவாக எதிர்க் குறியாக மாறி, இறுதியாக மின் குழாய் வெட்டு நிலையை அடைகிறது. இப்பொழுது அலைவுகள் நின்றுவிடுகின்றன. $C$-ல் உள்ள மின்னூட்டம் $R$-ன் வழியாகக் கசிகிறது, உடனே அலைவுகள் மறுபடியும் தோன்றுகின்றன. இந்த முழு நிகழ்ச்சிகளும் திரும்பத் திரும்ப நிகழ்கின்றன.

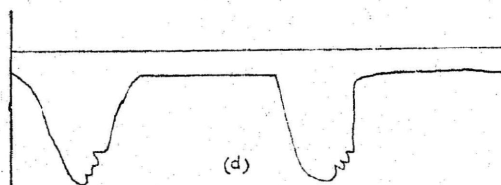
இவ்வாறு ஒவ்வொரு சுற்றும் தொடர்ச்சியாகப் பல அலைவு களைப் பெற்றிருக்கிறது. அப்பொழுது கிரிடு விரைவாக எதிர் மின்னழுத்தத்தைப் பெறுகின்றது. பிறகு நீண்ட நேரத்திற்குச் சுற்று அமைதியாக இருக்கின்றது. இப்பொழுது மின் தேக்கியி லுள்ள எதிர் மின்னூட்டம் தேக்கிக்கு இணையாக உள்ள மின் தடை வழியே கசிகிறது. கிரிடு நேர் மின்வாய் ஆகியவற்றிலுள்ள மின்னழுத்தங்களின் அலை உருவங்கள் படம் 17·14 (a), (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

குறுகிய துடிப்புகளை உண்டாக்குவதற்கு வேண்டிய தடுப்பு நிலைமையை, நடைமுறையில் $C$, $R$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைச் சரி யாகத் தேர்ந்து எடுப்பதினுலும், நேர் மின் வாயிலிருந்து கிரிடுக்குப்



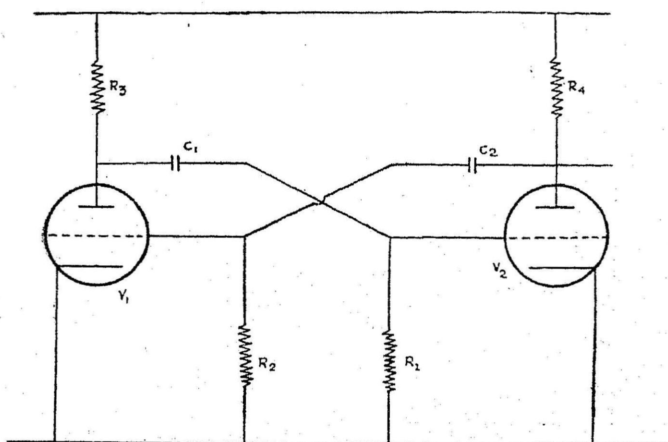




படம் 17·14

கிரிடு, நேர் மின்வாய் மின்னழுத்த அலை உருவங்கள்.

மின்னூட்டத்தைச் சீர் செய்வதாலும் உருவாக்குகின்றனர். இப்பொழுது முதல் நேர்க் குறி அரைச் சுற்றிலேயே மின்தேக்கி முழு அளவில் மின்னூட்டம் பெற்றுவிடுகிறது. எனவே இரண்டாவது சுற்றினால் மின் குழாயை இயங்க வைக்க முடிவதில்லை. நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் இந்த அரைச் சுற்றிலேயே ஓடுகிறது. ஆகவே குறுகிய எதிர்க் குறித் துடிப்புகள் நேர் மின்வாயில் உண்டாக்கப் படுகின்றன. கிரிடு, நேர் மின்வாய் ஆகியவற்றின் மின்னழுத்தங் களின் அலை உருவங்கள் படம் 17·14(c)- (d)-ல் காட்டப் பட்டுள்ளன.

இரண்டாவது வகை அலைவியற்றி பல்லியல் அதிர்வி (Multi vilbrator) ஆகும். இத்தச் சுற்று பல்வேறு நேரங்களையுடைய சதுரத் துடிப்புகளை உண்டாக்கப் பயன்படுகின்றது. ஒரு சரியான பல்லியல் அதிர்வியின் அமைப்புப் படம் 17·15-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இந்த மின் சுற்று முக்கியமாக ஒரு மின் தடை மின் தேக்கி இணைப்புப் பெருக்கி ஆகும். இந்தச் சுற்றில் ஒரு மின் குழாயில் உள்ளிடு அளவு மற்றதன் வெளிவிடு அளவுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு மின்குழாயும் 180° டிகிரி கட்ட பேதத்தை உண்டாக்குவதால் அமைப்பு தொடர்ந்து அலைவுறுகின்றது.

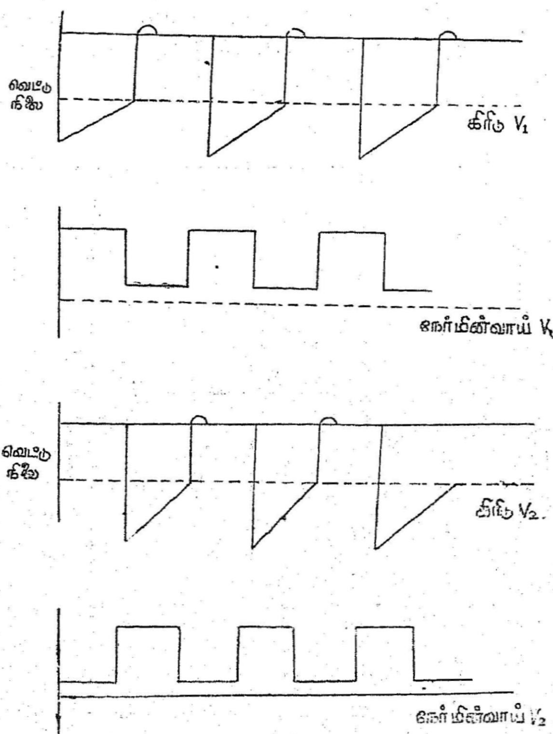



படம் 17·15

பல்லியல் அதிர்வி

$V_1$ மின்குழாய் நேர் மின்வாய் மின்னோட்ட வெட்டுநிலைக்கு அப்பாலும், $V_2$ மின்குழாய் கடத்தக்கூடிய நிலையிலும் இருப்பதாகக் கொள்வோம், $C_2$, $R_2$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பொறுத்து மின் தேக்கி $C_2$-லுள்ள மின்னூட்டம் கசிவுறுகிறது. ஒரு நிலையில் $V_1$ மின்னோட்டத்தைச் செலுத்த ஆரம்பிக்கும், $V_1$-ன் வழியாகச் செல்லுகின்ற மின்னோட்டத்தினல் $R_3$-ல் ஒரு மின்னழுத்த பேதம் ஏற்படும். இவ்வாறு நேர் மின்வாயில் ஏற்பட்ட எதிர் மின்னழுத்தக் குறிப்பு $C_1$ வழியாக $V_2$ மின்குழாயின் கிரிடுக்குக் கொடுக்கப்படும். இதனல் $V_2$ வெட்டு நிலையை அடையும். ஆகவே நேர்மின்வாய் மின்னோட்டம் குறைந்து $R_4$-ல் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும். இந்த மின்னழுத்த அதிகரிப்பு $C_2$ வழியாக $V_1$-ன் கிரிடுக்குக் கொடுக்கப் படும். அதனல் $V_1$-ல் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும்.

இந்த மாற்றம் துரிதமாகவும் தொடர்ந்தும் நடப்பதால் மின்னேட்டம் $V_2$-லிருந்து $V_1$-க்கு மாறுகிறது. $V_1$-ன் நேர் மின்வாயில் மின்தடை $R_3$ மின்குழாயின் அக மின்தடையுடன் ஒப்பிடும் பொழுது மிக அதிகமாக இருக்குமானல் ஏற்படும் மின்னழுத்தம் உச்சநிலை மின்னழுத்தத்திற்கு ஏறக்குறைய சமமாக இருக்கும். இது ஏறக்குறைய 300 வோல்ட்டுகள் வரை இருக்கும், இதை $V_2$-ன் கிரிடுக்குக் கொடுக்கும் பொழுது. இந்தக் குழாய் குறைந்தது 270 வோல்ட்டுகளாவது நேர் மின்வாய் மின்னேட்ட வெட்டுநிலைக்கு அப்பாற் கொண்டு செல்லப்படும். பிறகு $C_1$-ல் உள்ள மின்னேட்டம் மின்கடத்தல் திரும்ப ஆரம்பமாவதற்குத் தேவையான அளவு $R_1$-ன் வழியாகக் கசியும் வரையில் மின்குழாய் வெட்டு நிலையிலேயே இருக்கும். ஒரு முழுச் சுற்றில் $V_1$, $V_2$ மின்குழாய்களின் பல்வேறு மின்வாய்களிலுள்ள மின்னழுத்த வளைகோடுகள் படம் 17·16-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

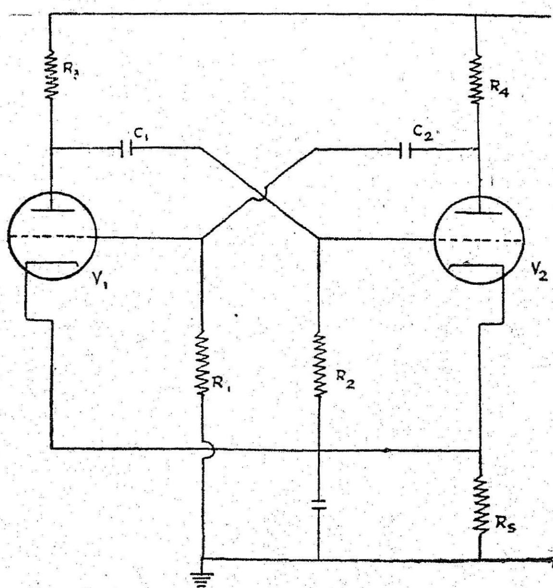



படம் 17·16

பல்லியல் அதிர்வியின் மின்னழுத்த வளைகோடுகள்.

மேற்கண்ட வளைகோடுகளைக் கொடுக்கின்ற சுற்றில் $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$, $C_1 = C_2$ என்று எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. எனவே அலை உருவங்கள் சமச்சீர் உடையனவாகக் கிடைக்கின்றன. ஒரு சுற்றின் பாதியின் அலைவு நேரம் $C_1 (R_1 + R_3)$ உடனும், மற்றப் பாதி $C_2 (R_2 + R_4)$ உடனும் மாறுபடுகிறது. இங்கு உயர் மின்னழுத்தத்தின் அக மின் தடை வழியாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. $C_1 (R_1 + R_3)$, $C_2 (R_2 + R_4)$ என்பன நேர மாறிலிகளாகும். ஒரு நேரமாறிலி மற்றதை விடச் சிறியதாக இருக்குமானால் ஓர் அரைச் சுற்று மற்றதைவிடக் குறுகியதாக இருக்கும். இவ்வாறாகக் குறுகிய செவ்வக வடிவத் துடிப்புகளை ஒரு மின்குழாய் நேர் மின்வாயில் உண்டாக்கலாம்.

பல்லியல் அதிர்வியின் திருத்தியமைக்கப்பட்ட அமைப்பு சில சமயங்களில் தொடர்ச்சியான குறுகிய துடிப்புகளிலிருந்து கட்டுப் படுத்தப்பட்ட நீளங்களையுடைய இசைவு பொறுத்துமானத் (synchronizing) துடிப்புகளை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படுகிறது. இத்தகைய சுற்றின் அமைப்பு, படம் 17·17-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.



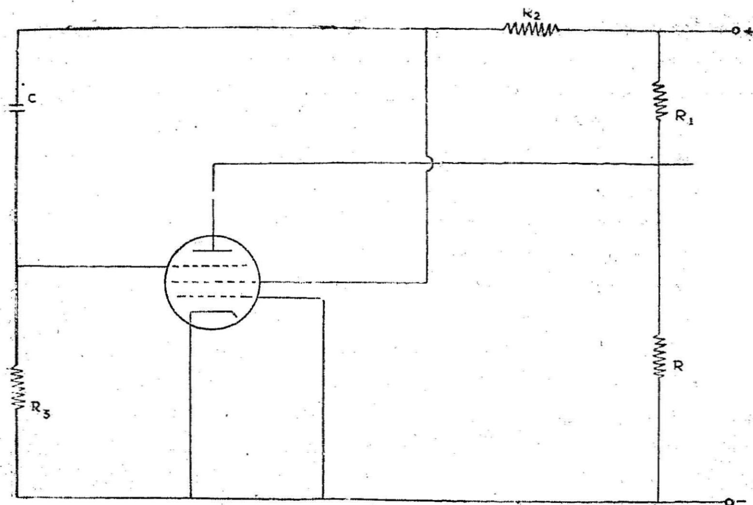

படம் 17·17

விழு — எழு சுற்று

இதற்குக் கிப் அஞ்சல் சுற்று (Kipp relay circuit) அல்லது மின் எழு விழு சுற்று (flip - flop) என்பது பெயர். சாதாரண பல்லியல் அதிர்விக்கும் இந்தச் சுற்றுக்கும் ஒரு முக்கியமான வேறு பாடு உண்டு. இதில் $R_5$ வழியே செல்லுகின்ற $V_2$-ன் மின்னோட்டத்தினால் $V_1$ நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் வெட்டு நிலைக் கப்பால் நிறுத்தப்படுகிறது ஒரு குறுகிய எதிர்த் திசைத் துடிப்பு $V_2$-க்குக் கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம், இது $V_2$ ஐ வெட்டுநிலைக்குத் தள்ளுகிறது. எனவே நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் உயர்ந்து $V_1$-ன் கிரிடு வெட்டுநிலைக்கப்பால் செலுத்தப் படுகிறது. $V_1$ கடத்த ஆரம்பிக்கிறது, $R_3$-ல் உண்டாகும் மின்னழுத்தம் $V_2$-ல் ஏற்கெனவேயுள்ள மின்னழுத்தத்துடன் சேருவதால் மின்னோட்டம் $V_2$-லிருந்து $V_1$-க்கு மாறுகிறது. கடத்தல் திரும்ப ஆரம்பிக்குமளவு $V_2$-ன் கிரிடிலுள்ள மின்னழுத்தம் கசிகிற வரையில் இதே நிலைமை நீடிக்கிறது. இது நிகழ்ந்தவுடன் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் குறைந்து $V_1$-ன் கிரிடு வெட்டு நிலைக்கு அப்பால் சென்று அடுத்தத் துவக்கித் துடிப்புக்குத் தயாராகச் சுற்று தன் பழைய நிலையை அடைகிறது. கட்டுப்பாடு செய்யப்பட்ட துடிப்பின் வீச்சு, இந்த மின் சுற்றின் நேரமாறிலி $C$, $R$ உயர்மின்னழுத்தம் $V_2$-ன் வெட்டுநிலை மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தே அமையும்,

மூன்றாவது வகை அலைவியற்றி டிரான்ஸிட்ரான் (Transitron) ஆகும், இதனுடைய அமைப்பு, படம் 17·18-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.

இது, குறுகிய சதுர வடிவுடைய மின்னழுத்தத் துடிப்புகளை உண்டாக்கப் பயன்படுகிறது. பென்டோடு மின் குழாயில் கிரிடில் மின்னழுத்தத்தை மாறுமலும் அடக்குக் கிரிடின் மின்னழுத்தத்தை நேர்க்குறிக்கு விடாமலும், நேர்மின்வாய் திரைகிரிடு இவைகளின் மின்னோட்டங்களை நிலையாகவும் வைத்திருப்பதே இந்தச் சுற்றின் தத்துவமாகும், கிரிடு புவியுடன் இணைக்கப்பட்டிருக் கிறது. அடக்குக் கிரிடு உறுதியான நிலையில் புவி மின்னழுத்தத் துடன் உள்ளது இப்பொழுது அடக்குக் கிரிடு சிறிதளவு எதிர்க் குறி பெறுவதாகக் கொள்வோம். அதனால் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் குறையும்; திரை கிரிடு மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும், எனவே $R_2$-ல் மின்னழுத்தம் குறையும். இது எதிர் மின் துடிப்பாக $C$ வழியே அடக்குக் கிரிடுக்குக் கொடுக்கப்படும், இது அடக்குக் கிரிடின் எதிர் மின்னழுத்தத்தை மேலும் அதிகரிக்கும், உண்மையில் மின்சுற்று ஒரு போக்குச் சுற்றாகத் (one value kipp) தொழிற்படுகிறது. திரைகிரிடில் மின்னழுத்தக் குறைப்பு நீடித்து நேர்மின்வாய்




படம் 17·18

டிரான்ஸிட்ரான்

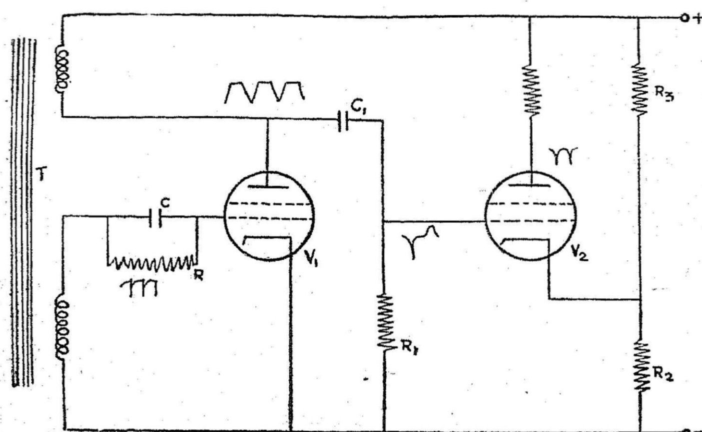
மின்னோட்டம் அறவே நின்றுவிடுகின்றது. இப்பொழுது $R_2$-ன் வழியே மிக அதிக அளவு மின்னோட்டம் திரை கிரிடை அடைகின்றது. மேலும் இப்பொழுது $R_3$ வழியே மின்தேக்கி $C$ மறுபடியும் மின்னோட்டம் பெறுகிறது. $C$, $R_3$ ஆகியவற்றின் மதிப்பைப் பொறுத்து சிறிது நேரம் கழித்து அடக்குக் கிரிடு ஒரு மின்னழுத்தத்தைப் பெறுகிறது. இந்த மின்னழுத்தத்தில் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் திரும்பவும் ஆரம்பிக்கிறது. எனவே திரை கிரிடு மின்னோட்டம் குறைகிறது. இதனுல் திரை மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. இது $C$ வழியே அடக்கு கிரிடுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இது நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை மேலும் அதிகரிக்கிறது. இந்த நிகழ்ச்சிகள் தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றன.

மின்சுற்றின் பாகங்களை மிகக் கவனமாகத் தேர்ந்து எடுப்பதன் மூலம் நேர்மின்வாயிலிருந்து திரைச் சுற்றுக்கும் திரையிலிருந்து நேர் மின்வாய்ச் சுற்றிற்கும் மின்னோட்டத்தை வெகு விரைவாக மாற்றலாம். எனவே மிகக் குறுகிய நேர் மின்னழுத்தத் துடிப்புகளை மின்குழாயின் நேர் மின்வாயில் உண்டாக்கலாம்.

மிகக் குறைந்த செவ்வக வடிவத் துடிப்புகளை உண்டாக்க பல மின்குழாய்கள் அடங்கிய சுற்றுகளை உபயோகிக்கின்றனர். அவற்றின் தத்துவங்களே இதுகாறும் விவரமாகக் கூறப்பட்டன.

சாதாரண ரேடியோவின் ஆளுகை அலைவியற்றி (master oscillator) யில் செவியுறு அடுக்கப் பேச்சுகளை, அல்லது இசையொலிகளைப் பண்பிறக்கம் செய்கிறோம். ஆனால் ராடார் பரப்பியில் தொடர்ச்சி யான ஒரு திசை மின்னழுத்தத் துடிப்புகளைப் பயன்படுத்துகிறோம். எனவே சம இடைவெளிகளில் குவியல் குவியலாக ரேடியோ அடுக்கி ஊர்தி அலைகள் வானவெளியில் செலுத்தப்படுகின்றன. எனவே ராடார் பரப்பியிலுள்ள பண்பிறக்கிகளை மின்னழுத்தக் கட்டுகளிலிருந்து ஆற்றலை எடுத்து, தகுதியான மின்னழுத்தத் துடிப்புகளாக மாற்றுகின்ற கருவிகள் என அழைக்கலாம்.

பெருவாரியான பரப்பிகள் தனித் தனிப் பண்பிறக்கத் தொகுதி களைப் பயன்படுத்துகின்றன.




படம் 17·19

எதிர்க் குறித் துடிப்புகளை உண்டாக்கும் இரு மின்குழாய்ச் சுற்று

படம் 17·19 ஓர் எளிய இரு மின்குழாய்ச் சுற்றைக் காட்டு கிறது. இதைப் பயன்படுத்தி, சில மைக்ரோ விநாடிகள் நேரமுடைய எதிர்த் திசைத் துடிப்புகளை உண்டாக்கலாம். மின்சுற்றின் அந்தந்தப் பகுதிகளில் உண்டாகும் மின்னழுத்தங்களின் அலை வடிவங்கள் ஆங்காங்கு காட்டப்பட்டுள்ளன. $V_1$ ஒரு தடுத்தி அலைவியற்றி. நேர்மின்வாய்க்கும் கிரிடுக்கும் ஒரு மின்மாற்றியினால் இணைப்பு ஏற்படுத்தப்பட்டுள்ளது. $R$, $C$ இவற்றின் மதிப்புகள் ஓர் அரை அலைவிற்குப் பிறகு மின்குழாய் நிற்கும்படியாகத் தேர்ந்தெடுக் கப்பட்டுள்ளன. எனவே மின்குழாய் கடத்தும்பொழுது குறுகிய எதிர்த் திசைத் துடிப்புகள் நேர் மின்வாயில் உண்டாகின்றன.

இந்தத் துடிப்புகள் $C$, $R$ அடங்கிய பகுமின் சுற்றுக்குக் கொடுக்கப் படுகின்றன. எனவே $V_2$-ன் கிரிடு நேர்க் குறியும் எதிர்க் குறியு மான ஈட்டிமுனைத் துடிப்பு $V_1$-ன் நேர் மின்வாயிலிருந்து வரும் துடிப்பைவிடக் குறுகிய கால அளவை உடையது. $R_2$, $R_3$ ஆகிய வற்றைப் பயன்படுத்தி $V_2$ -விற்கு மின்னழுத்தம் கொடுக்கிறோம். நேர்க் குறித் துடிப்புகளின் உச்சிகள் மட்டுமே மின்குழாயைக் கடத்தும் நிலைக்கு கொண்டு வருகின்றன. ஆகவே அதிக அளவு எதிர்க் குறித் துடிப்புகள் (மிக மிகக் குறுகிய கால அளவுடை யவை) மின் குழாயின் நேர் மின்வாயில் தோன்றுகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Radar Premier — *By J. L. Hornung*
2. Micro wave magnetism — *By Collins*
3. Radar — *By R. S. H. Boulding*

# 18. துடிப்புப் பரப்பிகள்

## (Pulse Transmitters)

இந்தப் பகுதியை இரு முக்கியப் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்றில் துடிப்புகளைப் பரப்பும் முறைகளைப் பற்றிப் பொதுவாகக் கூறப்படும். மற்றப் பகுதியில் ரேடியோ அடுக்க அலைவுகளை உற்பத்தி செய்யும் முறைகளைப் பற்றியும், அம்முறைகளில் ஏற்படும் இன்னல்களைப் பற்றியும், அந்த இன்னல்களைப் போக்கும் முறைகளைப் பற்றியும் கூறப்படும். இங்குப் பரப்பப்படுகின்ற அலைகள் மிக மிகக் குறுகிய அலை நீளங்களை உடையவை.

ராடார் பரப்பிகளில் குறுகிய ரேடியோ அடுக்கத் துடிப்புகள் தொடர்ச்சியாக உண்டாக்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு துடிப்பும் நன்றாகக் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட வரையரைக்கு உட்படுத்தப் பட்டிருக்கிறது. ராடார் பரப்பியும் பொதுவாக ரேடியோ பரப்பிகளைப் போலவே அமைந்துள்ளது. இந்தப் பரப்பிகளில் ஓர் ஆளுகை அலையியற்றி (master oscillator), திறன் பெருக்கி (power amplifier), பண்பேற்றி (modulator) ஆகியவையுள்ளன. ரேடியோப் பரப்பிகளில் உள்ள பண்பேற்றிகளில் பயன்படும் ஒலி பெருக்கிக்குப் (microphone) பதிலாக, இங்குத் துடிப்புச் சுற்றுகள் பயன்படுகின்றன. பண்பேற்றம் என்ற சொல் இங்கு அவ்வளவாகப் பொருத்தமில்லை. ஆயினும் அந்தச் சொல்லே பொதுவாகக் கையாளப்படுகிறது. ராடார் தொழிற்படு முறையில் மிக அதிக அளவு திறன் தேவைப்படுகிறது. ஏனெனில் இலக்கிலிருந்து திருப்பப்பட்ட சைகை (signal) யின் வலு ராடார் பரப்பிக்கும் இலக்கிற்கும் இடையில் உள்ள தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது. சாதாரண ரேடியோவின் சைகை வலு தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது என்பது நாம் அறிந்த தொன்றாகும். ஏனெனில் சாதாரண ரேடியோவில் சைகை ஒரு திசையில் தான் செல்கிறது. ஆனால் ராடாரில் சைகை ஒரு திசையில் அனுப்பப்பட்டு மறுபடியும் அதே திசையில் திருப்பப் படுவதால் அது அதே தூரத்தின் இரு மடங்கைக் கடக்கிறது.

பரப்பியிலிருந்து வானத்தில் மிதக்கும் ஒரு பலூனை நோக்கிச் சைகையை அனுப்பும்பொழுது, பலூனில் சைகையின் வலு பரப்பிக்கும் பலூனுக்கும் இடையில் உள்ள தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது. இந்தச் சைகையினுல் பலூன் கிளர்ச்சி (excite) அடைகிறது. உடனே அது சைகையைத் திரும்ப வீச ஆரம்பிக்கிறது. இந்தச் சைகை, ஏற்பியை (receiver) அடைகிறது. ஏற்பி சைகையின் வலு பலூனுக்கும் ஏற்பிக்கும் இடையிலுள்ள தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் உள்ளது. எனவே பரப்பியிலிருந்து பலூனை நோக்கிச் சைகை வீசப்படுவதையும் பலூனிலிருந்து ஏற்பியை நோக்கிச் சைகை திருப்பி அனுப்பப்படுவதையும் ஒன்ருகக் கணக்கிட்டால் ஏற்பியில் சைகையின் வலு பரப்பி அல்லது ஏற்பிக்கும் பலூனுக்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தின் இரு மடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். ராடாரில் ஒரே ஏரியல் பரப்பியாகவும் ஏற்பியாகவும் தொழிற்படுகிறது என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. இவ்வாறு சைகை இரு திசைகளிலும் செல்ல வேண்டியிருப்பதால் அது பரப்பியிலிருந்து அனுப்பப்படும் பொழுது மிக அதிக மின் திறனைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். மேலும் இலக்குகளை (targets) அவைகளின் செயலுறு திருப்ப எண்களின் (effective reflection coefficient) அடிப்படையில் பல்வேறு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். இந்தப் பயனுறு திருப்ப எண்ணை ஒரு குறிப்பிட்ட இலக்குக்கு வரையறுத்துக் கூறுவது சாத்தியமல்ல. ஆயினும் அது இலக்கின் பருமன், ஏரியலிலிருந்து அதன் தூரம், அது செய்யப்பட்டுள்ள மூலப் பொருள், ரேடியோ அடுக்கத் துடிப்புகளின் அடுக்கம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து இருக்கிறது. பொதுவாக, அனுப்பப்படுகின்ற துடிப்புகளின் அடுக்கம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இலக்குகளிலிருந்து சைகையும் சிறந்த முறையில் திரும்பப் பெறப்படுகிறது. எல்லாப் பொருட்களும், அவை மரம் போன்ற கடத்தாப் பொருட்களால் (non-conducting materials) செய்யப்பட்டிருந்தால் கூட, சைகையைத் திருப்பி அனுப்புகின்றன. ஏனெனில் ரேடியோத் துடிப்புகள் அவைகளில் இடப்பெயர்ச்சி மின்னேட்டத்தை (displacement current) உண்டாக்குகின்றன. இந்த இடப் பெயர்ச்சி மின்னேட்டம் சைகையை ஏற்பியை நோக்கித் திருப்பி அனுப்புகிறது.

ராடாரில் துடிப்புகள் மூலம் சைகையை அனுப்புவது தான் சிறந்த முறையாகும். ஏனெனில் இதில் கணிசமான அளவு மின் திறன் சேமிக்கப்படுகிறது. சைகைகளைத் தொடர்ச்சியாக அனுப்பிக் கொண்டேயிருந்தால் மின்திறன் விரயமாவதுடன் எப்பொழுது அனுப்பப்பட்ட சைகையை எந்தச் சமயத்தில் திரும்பப் பெறுகிருேம் என்பதும் புரியாமல் போய்விடும். மேலும் ராடாரில் சைகை

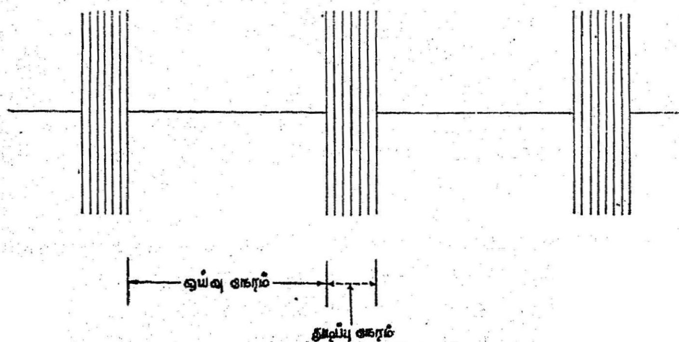
அனுப்பப்படும் வேகத்தில் தான் திறன் வீசப்படுகிறது. இந்த நேரங்கள், ராடார் தொழிற்படும் நேரத்தோடு ஒப்பிடப்படும் பொழுது மிக மிகக் குறைவாகவே இருக்கின்றன. இதன் விளைவாக இம் முறையில் மற்ற எல்லா முறைகளை விட அதிக மின் திறனைச் சிக்கனமாகப் பெறமுடிகிறது

ஒரு மின் சுற்றின் திறனை எந்த ஒரு கணத்திலும் அச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டம், மின்னழுத்தம் ஆகியவைகளின் பெருக்கற் பலனாகக் கொள்ளலாம். இது கண நேர (instantaneous) மின்திறன் எனப்படும். மின் தடைகள் மட்டுமேயுள்ள ஒரு சுற்றில் மின்னழுத்தமும், மின்னோட்டமும் உச்சநிலையில் இருக்கும் பொழுது இந்த உடனடியான மின்திறனும் உச்ச நிலையில் இருக்கும். இந்த உயர்வு அளவு மின்திறனுக்கு உச்ச அளவு மின்திறன் (peak power) என்பது பெயர். மின்னழுத்தமும் மின்னோட்டமும் சைன் வகையில் மாறும் பொழுது ஒரு முழுச் சுற்றில் சராசரி மின் திறன் (average) என்பது உச்ச மின் திறனில் பாதியாகும்.

துடிப்புப் பரப்பிகளில் உச்ச மின் திறனுக்கும் சராசரி மின் திறனுக்குமுள்ள தொடர்பு ஓர் எளிய சமன்பாட்டினால் பெறப் படுகிறது.

$$\text{சராசரி மின்திறன்} = \text{உச்ச மின் திறன்} \times \frac{\text{துடிப்பு நேரம்}}{\text{ஓய்வு நேரம்}} \quad \cdots (1)$$

மின் சுற்றில் மின்னோட்டம் சைன் அலை வடிவத்தில் மிகக் குறுகிய காலத்திற்கு நிகழ்கிறது. இந்தக் குறுகிய காலத்திற்குப் பெயர் துடிப்பு நேரமாகும். பிறகு மின் சுற்றில் மின்னோட்டம் நீண்ட நேரம் நிகழ்வதில்லை. இப்படி மின்னோட்டம் நிகழாத காலம் ஓய்வு நேரம் எனப்படும். இது படம் 18·1-ல் விளக்கப் பட்டுள்ளது




படம் 18·1.

துடிப்பு நேரமும், ஓய்வு நேரமும்.

துடிப்பு நேரத்தின் பொழுது மின் திறன் உச்ச மின் திறனைப் போல் இரு மடங்கின் சராசரி மதிப்பைப் பெறுகிறது. இதுவே ஓய்வு நேரத்தின் பொழுது சுழியாகிறது. எனவே, ஓர் அலைவு நேரத்தில் அதாவது துடிப்பு நேரம், ஓய்வு நேரம் ஆகியவற்றின் மொத்த நேரத்தில் சராசரி மின்திறன் மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன் பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

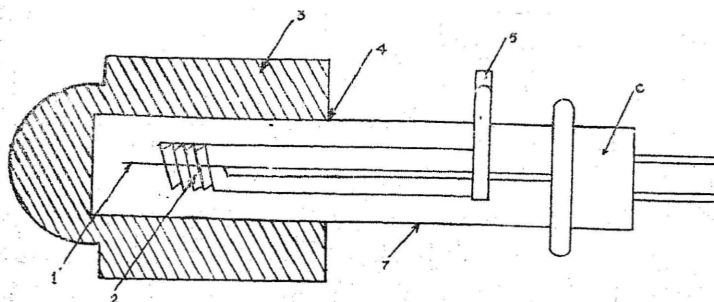
துடிப்பு நேரம் 2 மைக்ரோ வினாடிகளாக இருந்து துடிப்புகள் ஒரு வினாடியில் 1000 தடவைகள் நிகழ்ந்தால் உச்ச மின் திறனுக்கும் சராசரி மின் திறனுக்கும் உள்ள தகவு 500 ஆகும். இவ்வாறு 150கிலோ வாட்டுகள் உள்ள ஓர் உச்ச மின்திறன் 300 வாட்டுகள் சராசரி மின் திறனுக்கு ஒப்பாகும். திரும்பப் பெறப்படும் சைகையின் வலு பரப்பியிலிருந்து அனுப்பப்படும் துடிப்பின் மின் திறனைப் பொறுத்துள்ளது. ஆனால் துடிப்புகளை அனுப்பும் பொழுதும் அவை திருப்பப்பட்டு மீண்டும் பெறப்படும் பொழுதும் அதிக அளவு ஆற்றல் வெப்ப இயக்க விளைவால் விரயமாகிறது. ஆகவே ஆற்றலைத் தொடர்ச்சியாக அனுப்பிக் கொண்டேயிராமல் சிறு சிறு துடிப்புகளாக அனுப்புவதால் மின்னாற்றல் சேமிக்கப் படுகிறது. இருந்த போதிலும் மின்னோட்டம் நிகழ்கின்ற கம்பிகள் தகுந்தபடி காப்பிடப்பட வேண்டும்.

ராடார் அலைவியற்றிகள், பருமன், தொழிற்படும் மின்னழுத் தங்கள் ஆகியவற்றில் ஒன்றிற்கொன்று பெருமளவு மாறுபடு கின்றன. எளிய மின் குழாய்ச் சுற்றுகளைப் பயன்படுத்தும் விமான மாதிரி (aircraft model) வகைகள் ஒரு சில நூறு வோல்ட் டுகள் மின்னழுத்தங்களில் இயங்குகின்றன. நிலையான பெரிய ராடார் நிலையங்கள் மிகச் சிக்கலான மின் சுற்றுகளையும், ஏறக் குறைய 30,000 வோல்ட் மின்னழுத்தங்களையும் பயன்படுத்து கின்றன. ஏறக்குறைய எல்லா வகைகளிலும் அலைவியற்றி இசைவிக் கப்பட்ட-நேர் மின்வாய் இசைவிக்கப்பட்ட-கிரிடு வகையையேச் சார்ந்துள்ளன. இசைவிக்கப்பட்ட சுற்றுகள் ஒத்ததிர்வுக் கம்பிகள் (resonant lines) அல்லது லெஹர் கம்பிகள் மாதிரிப் பயன்படு கின்றன. இவைகளைப் பற்றி விரிவாக வேறு ஓர் அத்தியாயத்தில் காண்போம்.

ஏரியலிலிருந்து துடிப்புகள் விட்டு விட்டுச் செல்லுமானால் அதாவது ஓய்வு நேரத்தில் நேர் மின்வாயிலிருந்து திறன் விரய மாக்கப்படுவது முழுவதும் தடுக்கப்பட்டால் மின் குழாய்களைச் சூடாகாமல் பாதுகாப்பது மிகவும் எளிதாகும். அதிக மின் திறன் உள்ள நிலையான ராடார் நிலையங்களைக் கருதினால் இவைகளில் வெளி வரும் மின்திறன் உச்ச அளவு மின்னழுத்தத்தாலும், அலை

வியற்றின் எதிர் மின்வாயிலிருந்து பெறக் கூடிய உச்ச அளவு மின்னேட்டத்தாலுமே நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. எனவே பரப்பிகளின் அலைவியற்றிகளில் அதிக வெப்ப நிலைகளைத் தாக்கக் கூடியனவாகவும் மிக உயர்ந்த ஒரு திசை, இரு திசை மின்னழுத்தங்களில் தொழிற்படக் கூடியனவாகவும் உள்ள மின் குழாய்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

எனவே பரப்பிகளில் அலைவியற்றி மின் குழாய்கள் பெரிய ஃபிலமென்டுகளை உடையனவாக இருக்கின்றன. இந்த ஃபிலமென்டுகள் தோரியம் கலக்கப்பட்ட டங்ஸ்டனால் செய்யப்பட்டுள்ளன. சில சமயங்களில் இந்த ஃபிலமென்டுகள் தூய டங்ஸ்டனலும் செய்யப்படுவதுண்டு. இந்தக் குழாய்களில் மின்வாய்களுக்கிடையே அகன்ற இடைவெளி இருக்கும். நேர் மின்வாய்கள் சிறியனவாகவும் காற்றினல் குளிர்விக்கப்படுவனவாகவும் இருக்கும். பொதுவாக, இந்த நேர் மின்வாய் மின் குழாயில் ஒரு மூலையிலோ, அல்லது மத்தியிலோ இருக்கும். இந்தக் குழாயிலுள்ள சிறு துவாரங்கள் வழியே காற்று உட்சென்று அதைக் குளிர்விக்கும். இத்தகைய குழாய் ஒன்றின் படம் 18·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 18·2

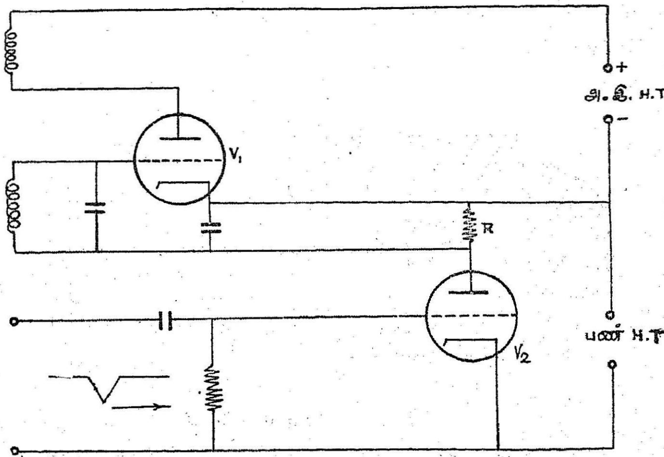
1. ஃபிலமென்ட்
2. திருகு
3. நேர் மின்வாய்
4. கண்ணடி உலோக இணைப்பு
5. திருகு இணைப்பு
6: அடிப்பக்கம்
7. கண்ணடி உறை

அலைவியற்றி மின்குழாய்

இனி ராடாரில் பண்பேற்றத்தைப் பற்றிச் சிறிது பார்ப்போம். எந்த வகையாகத் துடிப்புகளைப் பண்பேற்றினலும், அலைவியற்றியின் மின்குழாய்கள் ஓய்வு நேரத்தில் மின்னேட்டத்தை உண்டாக்காத வகையில் சுற்றுகள் அமைக்கப்பட வேண்டும். இல்லையேல் நேர் மின்வாயில் மின்திறன் தொடர்ந்து விரயமாகிக்

கொண்டே இருக்கும். மேலும் அலைவியற்றி, தொடர்ந்து அலைந்து கொண்டே இருந்தால் நேர்முகக் கதிர்வீச்சால் ஏற்பி பாதிக்கப்பட்டு வலுவற்ற திருப்பப்பட்ட சைகைகளை உணர முடியாமல் போய்விடும். துடிப்புப் பண்பேற்றத்தை நேர் மின்வாய் முறையிலோ அல்லது கிரிடு முறையிலோ செய்யலாம். இரண்டிலுமே உயர் அடுக்க ஊர்தி அலையை உண்டாக்குவதே நோக்கமாகும். இந்த ஊர்தியலையின் நேரம் 1 அல்லது 2 மைக்ரோ வினாடிகளாகும். பண்பேற்றிகளில் சில 100 வோல்ட்டுகள் விசையுடைய நேர்க் குறி அல்லது எதிர்க் குறித் துடிப்புகள் எல்லா வகை அலைகளுக்கும் பொருந்தும்.

ஓர் எளிய கிரிடு பண்பேற்றிச் சுற்றின் படம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 18·3). இங்குப் பண்பேற்றிக் குழாய் $V_2$ வழியே ஒரு நிலையான மின்னோட்டம் செல்லுகின்றது. இதனால் $R$ என்ற மின் தடையில் ஒரு மின்னழுத்தம் ஏற்படுகிறது. இந்த மின்னழுத்தம் மின்குழாய் $V_1$ ஐத் துண்டித்து விடுகிறது. இங்குப் பண்பேற்




கிரிடு பண்பேற்றிச் சுற்று

படம் 18·3

றும் துடிப்பு எதிர்க்குறித் துடிப்பாகும். இது $V_2$ என்ற மின்குழாயின் கிரிடுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே இந்த மின்குழாய் துண்டிக்கப்படுகிறது. $R$ என்ற மின்தடை வழியே செல்லுகின்ற மின்னோட்டமும் நின்றுவிடுகிறது. எனவே $V_1$-ல் உள்ள நார்பு மின்னழுத்தம் (bias) நீக்கப்படுகிறது. ஆகவே அலைவுகள் திரும்

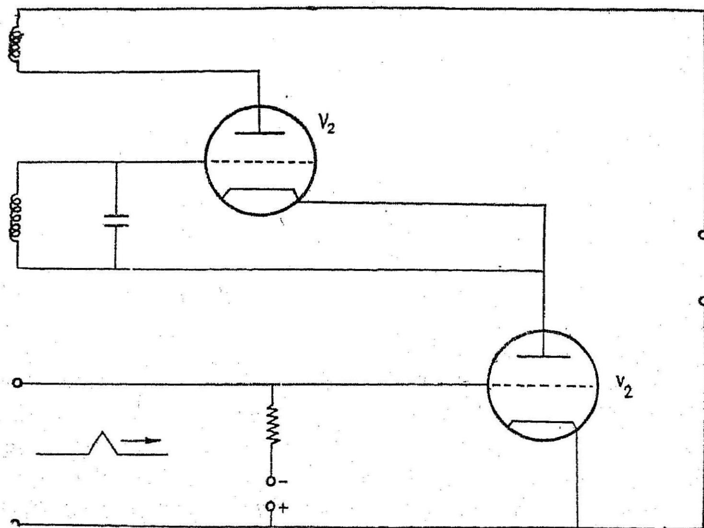
பவும் தொடங்குகின்றன. பண்பேற்றித் துடிப்புகள் நீக்கப்பட்டு ஒரு நூர்பு மின்னழுத்தம் திரும்ப உண்டாகிற வகையில் இந்த அலைவுகள் தொடர்கின்றன. ஒன்று அல்லது இரண்டு மைக்ரோ விநாடிகள் கால அளவுள்ள பெரிய வீச்சுப் பண்பேற்றித் துடிப்புகளைப் பெறுவது ஒரு கடினமான செயலாகும், இம்மாதிரிச் சமயங்களில் மின்குழாயின் கிரிடில் ஒரு மின்தேக்கி, ஒரு மின்தடை ஆகியவற்றை இணைத்து மின்குழாயை ஒரு குறித்த முறையில் தொழிற்படுமாறு செய்கின்றனர். மின்தேக்கி, மின்தடை ஆகியவற்றைத் தகுந்த முறையில் தேர்ந்தெடுத்து மின்குழாய் தானாகவே ஒன்று அல்லது இரண்டு மைக்ரோ விநாடிகளுக்குப் பிறகு நின்று போகும்படி செய்யலாம். மின்குழாயின் கிரிடுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தேக்கியில் ஓர் எதிர் மின்னூட்டம் சேர்வதே இதற்குக் காரணமாகும். இந்த எதிர் மின்னூட்டம் மின்தடை வழியே கசிந்து போகும்பொழுது பண்பேற்றும் துடிப்பு நீக்கப்படுகிறது. எனவே மின் சுற்றைச் செயலற்றதாக்கி ஒரு நூர்பு மின்னழுத்தம் திரும்பவும் பெறப்படுகிறது. இத்தகைய அமைப்பினால் பண்பேற்றி ஒரு துடிப்பின் தொடக்கத்தைக் கட்டுப்பாடு செய்வதைத் தவிர, துடிப்பின் அகலம் அலைவுச் சுற்றின் நேர மாறிலியால் நிர்ணயக்கப்படுகிறது.

நேர் மின்வாய்ப் பண்பேற்றத்தில் ஓர் உயர் மின்னழுத்தம் அலைவியற்றியின் நேர் மின்வாய்க்குத் துடிப்பு நேர அளவுக்கு மட்டும் கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த முறையில் ஓர் இடையூறு உண்டு. அதாவது ஆற்றல் மிக்க பரப்பிகளில் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் சாதாரணமாக ஆயிரக் கணக்கான வோல்ட்டுகளை அடைகிறது. எனவே அவைகளைக் கட்டுப்படுத்துவது ஒரு கடினமான செயலாகும். ஆனால் இந்த வகையில் சில நன்மைகளும் உண்டு. அலைவியற்றியின் மின்குழாய்களில் ஆக்ஸைடு பூசப்பட்ட எதிர் மின்வாய்களை உபயோகிக்கும்பொழுது கிரிடுப் பண்பேற்றத்தைப் பிரயோகிப்பதில்லை. ஏனெனில் இவைகளில் மிக அதிக அளவுள்ள கிரிடு எதிர் மின்வாய் மின்தடை வேண்டும். எதிர் மின்வாயிலிருந்து கிரிடுக்கு ஆக்ஸைடு போய்ச் சேர்வதால் கிரிடு மின்னோட்டமும் நிகழ்கின்றது. அதனால் கிரிடுச் சுற்றுகளில் அதிக மின்தடைகளை வைத்திருப்பதோ அல்லது கிரிடுப் பண்பேற்றமோ சாத்தியமல்ல.

நேர் மின்வாய்ப் பண்பேற்றத்தின் செயல்முறைச் சுற்று ஒன்று படம் 18·4-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

இங்கு $V_1$, $V_2$ என்ற மின்குழாய்கள் தொடரிணைப்பு முறையில் உயர் மின்னழுதத்திற்குக் குறுக்கே இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

பொதுவாக $V_2$-ன் கிரிடு வெட்டு நிலைக்கு அப்பால் எதிர் மின்னழுத்தத்தில் வைக்கப்படும்; ஆகவே இந்த மின்குழாய் வழியே நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் நிகழ்வதில்லை. ஆகவே அலைவியற்றியின் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தமில்லை. இப்பொழுது நேர்க்குறிப் பண்பேற்றித் துடிப்பு $V_2$-ன் கிரிடுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. மின் குழாய் கடத்த ஆரம்பித்து $V_1$-க்கு உயர் மின்னழுத்தத்தைக்




படம் 18·4

ஆனோடு பண்பேற்றிச் சுற்று

கொடுக்கிறது. $V_2$ அலைவுறுகின்றது. இந்தச் சுற்றில் $V_2$, $V_1$ ஆகிய இரு மின்குழாய்களும் தொடர் இணைப்பு முறையில் உள்ளதால் அவைகள் கடத்தும்பொழுது அவற்றின் வழியே ஒரேயளவு மின்னோட்டமே செல்லுகிறது. மேலும் துடிப்பு நேரத்தில் $V_2$-ல் உள்ள மின்னழுத்த பேதம் $V_1$-ல் உள்ளதை விடக் குறைவாகும். அதாவது $V_2$ என்ற அதிக எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது; அதனுடைய நேர் மின்வாய் மின்னெதிர்ப்புக் குறைவு என்று பொருள்படுகிறது. துடிப்பின் உருவத்தைச் சிதையாமல் பாதுகாப்பதற்கு மின்குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையே உள்ள தேக்கித்திறன் மிகக் குறைவாக இருத்தல் வேண்டும். நேர் மின்வாய் மின்னெதிர்ப்பு மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும் என்ற பொதுவான நிலைக்கு இது முரணுகிறது. பண்பேற்றி மின்குழாயைத்

தேர்ந்தெடுக்கும் பொழுது இவைகளைக் கவனத்தில் கொண்டு எல்லாப் பண்புகளுக்கும் ஒத்தபடி தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும்.

அலைவுச் சுற்று அலைவுற ஆரம்பித்த உடன், அலைவுகள் வளர்கின்ற வேகம் மின்சுற்றிலுள்ள எதிர் மின்தடையைச் சார்ந்துள்ளது. துடிப்பின் உருவத்தைப் பாதுகாக்க மின்குழாயின் பரிமாற்றுக் கடத்துத்திறன், நேர் மின்வாய்ச் சுற்றுகளிலிருந்து கிரிடுச் சுற்றுகளுக்குள்ள மின்னிணைப்பு, மின்குழாயின் தடைக் கூறு ஆகியவை மின்சுற்றின் எதிர் மின்தடையைப் பாதிக்கின்ற நிகழ்ச்சிகளை மிகவும் கவனத்தில் கொள்ளல் வேண்டும். மேலும் மின் சுற்றமைப்பில் துடிப்பின் இறுதியில் அலைவுகள் குறைகின்ற வேகத்தையும் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். அலைவுகளின் சிதைவு மின் சுற்றின் தடைக் கூறையும் மின்குழாய் நின்றுவிடுவதையும் மிக அதிக அளவில் சார்ந்துள்ளது. துடிப்பின் உருவத்தைப் பாதுகாக்க இப்படிப் பல்வேறு முரணுன கருத்துகளுக்கிடையே ஓர் உடன்பாடு காணவேண்டும்.

பண்பேற்றி நிலையில் துடிப்புகளைக் கட்டுப்படுத்துவதற்குப் பதிலாக, தாமே தமது துடிப்புகளைத் தயாரித்துக் கொள்ளும் அலைவியற்றிகளைப் பரப்பில் உபயோகிப்பது சில சமயங்களில் சாத்தியமாகும். சில குறைந்த ஆற்றலுள்ள சுற்றுகளில், குறிப்பாக விமானங்களில் உபயோகிக்கப்படுகின்ற சுற்றுகளில் இத்தகைய அலைவியற்றிகள் பயன்படுகின்றன. இவைகளில் கிரிடுக் கசிவு கிரிடு ஒரு நூர்பு மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்கப் பயன்படுகிறது; மிக அதிகமான மதிப்பையுடைய நேர மாறிலி, கசிவு மின்தடைக்கும் கிரிடு மின்தேக்கிக்கும் கொடுக்கப்படுகின்றது. சமநிலையை அடைகிற வரையில் அலைவுகள் கூடுகின்றன. கசிவு மின்தடைக்கிடையே உள்ள நூர்பு மின்னழுத்தம் அலைவுகளின் வீச்சுகளில் ஏற்படும் மாறுதலுக்கு மிக மெதுவாக ஈடுகொடுக்கிறது. ஆகவே செயலற்றுப் போகச் செய்யும் மின்னழுத்தத்தின் விளைவாக அலைவுகள் அழிந்து போகலாம். அலைவு நேரத்தில் துடிப்பலையின் கூர்மையை அதிகரிப்பதற்காகக் கிரிடு சில சமயங்களில் நேர் மின்வாய்ச் சுற்றுடன் இணைக்கப்படுகிறது.

1942-க்கு முன்னுல் குறைந்த திறனுடைய ராடார் பரப்பிகளும், ஏற்பிகளும் விமானங்களில் பொருத்தப்பட்டு கடலில் செலுத்தப்படும் கப்பல்களைக் கண்டுப்பிடிக்கப் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவைகளில் பயன்படுத்தப்பட்ட அலை நீளங்கள் 1·5 மீட்டர்களை விடச் சற்று அதிகமாக இருந்தன. இவைகள் 10 அல்லது 15 மைல்களுக்கு அப்பால் இருந்த கப்பல்களையும் அதற்குள்ளிருந்த

நீர் மட்டத்தில் சென்று கொண்டிருந்த நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களையும் கண்டுபிடித்தன. ராடாரின் முக்கிய நோக்கமே தூரத்திலுள்ள ஓர் இலக்கை அந்த இலக்கின் உதவியின்றியே கண்டுப்பிடிப்பதாகும். 1942-ல் இந்தத் துறையில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்கள் மேலே கூறப்பட்ட கருத்தின் விளைவுகளாகும். எதிரி நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களில் இருந்த ராடார் கருவிகள் 50 மைல்களுக்கு அப்பாலும் இருந்து வரும் துடிப்புகளைப் பெறக்கூடியனவாக இருந்தன. ஆகவே வானவூர்தி ராடாரிலுள்ள ஏற்பி நீர்மூழ்கிக் கப்பலைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு முன்னால், அந்த எதிரி நீர்மூழ்கிக் கப்பல் பாதுகாப்பிற்காக நீர்க்குள் மூழ்கிவிட்டது. இந்த நிலையில் மிகக் குறுகிய ரேடியோ அலைகளை, உபயோகப்படுத்த வேண்டும் எனத் தீர்மானித்தனர். எனவே சென்டி மீட்டர் அலைகள் உபயோகத்திற்கு வந்தன. இதனால் எதிரி நீர்மூழ்கிக் கப்பலின் தலைவர்களுக்குப் பெரிதும் இன்னல்கள் விளைந்தன.

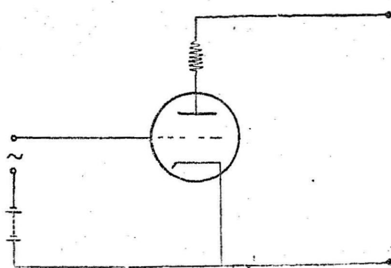
சென்டிமீட்டர் அலைகளைப் பயன்படுத்துவதில் எண்ணற்ற இடையூறுகளைச் சமாளிக்க வேண்டியதாயிற்று. அவற்றுள் முதலாவது, வினாடிக்கு 500 மெகா சுற்றுகள் (60 cm. அலை நீளம்) அதிர்வெண்ணில் சாதாரண மின்குழாய்களின் அகவாய் மின்தடை மிக மிகக் குறைவானதாகும். எனவே அலைவுகளைப் பெருக்குவது முடியாமல் போயிற்று. இத்தகைய அடுக்கங்களை உற்பத்தி செய்வதற்கு வேறு முறைகளைத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டியதாயிற்று. ஆகவே மைக்ரோ அலைகளைப் பரப்பும் முறைகளைப் பற்றியும். மைக்ரோ அலைகளை உற்பத்திச் செய்வதில் ஏற்படும் இன்னல்களை நீக்கும் முறைகளைப் பற்றியும் நாம் கவனிப்போம். எனவே மைக்ரோ அலைகளை உற்பத்திச் செய்யும் சில முக்கியமான கருத்துகளை மட்டும் நாம் கவனிப்போம்.

உயர் அடுக்க அலைவுகளை உற்பத்தி செய்வதிலும் அவற்றைப் பெருக்குவதிலும் சாதாரண மின் குழாய்களின் இயலாமைக்குக் காரணம் பொதுவாக அவைகளின் அகவாய் மின் தேக்கித் திறன்களே ஆகும். குறிப்பாக எலக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர் மின்வாய்க்குச் செல்வதற்கு எடுத்துக் கொள்கின்ற நேரமே முக்கியமான நேரமாகும். சாதாரண அடுக்கங்களில் இந்த நேரம், அதாவது ஓர் எலெக்ட்ரான் மின்குழாயில் ஒரு மின்வாயிலிருந்து வேறொரு மின்வாய்க்குச் செல்வதற்கு ஆகின்ற இந்த நேரம் உற்பத்தி செய்யப்படும் அலைவு மின்னழுத்தத்தின் ஒரு முழுச் சுற்றுக்கு ஆகின்ற நேரத்தோடு ஒப்பிடப்படும்பொழுது மிக மிகக் குறைவாகும். எனவே, சாதாரண அடுக்கங்களில் இந்த நேரம் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தில் குறிப்பிடத்தக்க விளைவு

சளை உண்டாக்குவதில்லை. ஒரு வினாடிக்கு 500 மெகா சைக்கிள்களுக்கு மேற்பட்ட அடுக்கங்களில் ஒரு மின் வாயிலிருந்து, வேறொரு மின்வாய்க்குச் செல்ல எலெக்ட்ரான் எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம், ஓர் அலைவு மின்னழுத்தச் சுற்றிற்கு ஆகும் நேரத்தோடு ஒப்பிடக்கூடிய அளவில் இருக்கிறது. பிறகு மின் குழாயின் குணங்கள் இதனால் பல்வேறு வகைகளில் மாற்றம் அடைகின்றன. குறிப்பாக, கிரிடு அக மின்னழுத்தத்திற்கும் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள கட்ட பேதத்தின் காரணமாகப் பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன் பின் தங்குகிறது. மின்குழாயின் எதிர் மின்வாய் நிலைமமும் இடையூற்றை விளைவிக்கின்றது. எனவே மேலே சொல்லப்பட்ட விளைவுகளின் பயனாக அலைப் பெருக்கங்கள் குறைகின்றன.

மேலே சொல்லப்பட்ட விளைவை இன்னும் சிறிது விளக்கிக் கூறலாம். உயர் அடுக்கங்களில் கிரிடு எதிர் மின்னழுத்தத்திலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை ஈர்க்காதபொழுது கூட அதில் ஆற்றல் விரயமாகிறது. ஏனெனில் ஒரு மின் வாயிலிருந்து வேறொரு மின் வாய்க்குச் செல்ல எலெக்ட்ரான்கள் எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் அக மின்தடையை வெகுவாகக் குறைக்கிறது. இதன் விளைவாக, கிரிடிலுள்ள சைகை மின்னழுத்தத்திற்கும், நேர் மின்வாய்க்குச் செல்லுகின்ற எலெக்ட்ரான்களுக்கும் இடையே ஆற்றல் பரிமாற்றம் நிகழ்கிறது. இந்தப் பரிமாற்றம் கிரிடு நிலையிலிருந்து திறனை வாங்கி அதன் மின்தடையைக் குறைக்கின்றது. உதாரணமாக, ஒரு பென்டோடு மின் குழாயின் புற மின் தடை 50 மெகா சுற்றுகளில் 20,000 ஓம்களாக உள்ளது. இதுவே 200 மெகா சுற்றுகளில் 2000 ஓம்களாகக் குறைகின்றது. இதன் விளைவாக இந்த மின் குழாயின் உச்சப் பெருக்கத் திறன் ஏறக்குறைய 12-லிருந்து ஒன்றிற்குக் குறைகிறது. இந்த இடையூறுகளை நீக்குவதற்காக அக்கார்ன் (Acorn) மின் குழாய்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்தக் குழாய்கள் பருமனில் மிக மிகச் சிறியவை. இவைகளில் ஒரு மின் வாய்க்கும் இன்னொரு மின் வாய்க்கும் இடையிலுள்ள தூரம் வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டது. ஆனால் இவைகளை உற்பத்தி செய்வதிலுள்ள இடையூறுகளும் ஆற்றல் விரயமாவதைத் தடுப்பதில் உள்ள சிரமங்களும் மிக அதிகமாக உள்ளன.

ஒரு மின்வாயிலிருந்து வேறொரு மின் வாய்க்குச் செல்ல எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஆகும் நேரத்தின் விளைவைச் சுருக்கமாக கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். படம் 18·5 ஐக் கவனிக்கவும்.



படம் 18·5.

எலெக்ட்ரான் கடக்கும்—கால விளக்கச் சுற்று.

ஒரு ட்ரையோடு மின்குழாயின் நேர் மின்வாய் ஒரு மின்னழுத்தத்துடன் படத்தில் காட்டிய முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கிரிடுக்கு ஓர் எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. அத்துடன் ஓர் உயர் அடுக்க மாறுதிசை மின்னழுத்தமும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. கிரிடின் இருதிசை மின்னழுத்தம் குறையக் குறைய நேர் மின்வாயை நோக்கிச் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் குறைகிறது. ஆனால் மின் வாய்களின் இடைவெளியில் எலெக்ட்ரான்கள் செல்வதற்கு ஆகும் நேரத் தாமதத்தினால், கிரிடு - நேர் மின்வாய்ப் பக்கத்தில், கிரிடு-எதிர் மின்வாய்ப் பக்கத்திலிருப்பதைவிட எலெக்ட்ரான்களின் அடர்த்தி அதிகம். இந்த நிலையில் கிரிடில் மின்னோட்டம் நிகழ்கிறது. ஏனெனில் கிரிடின் ஒரு பக்கத்தில் மறுபக்கத்தில் இருப்பதைவிட அதிக மின்னூட்டம் உள்ளது. சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகு கிரிடின் மேற்பொருத்த மின்னழுத்தம் அதன் உச்ச மதிப்பை நோக்கிச் செல்லும் பொழுது கிரிடின் எதிர் மின்னழுத்தம் குறைகிறது. கிரிடை நோக்கிச் செல்லும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறைகிறது எதிர். மின்வாய்ப் பக்கத்தில் நேர் மின்வாய்ப் பக்கத்திலிருப்பதை விட எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. இதற்கும் எலெக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாயை அடைவதற்கு ஆகும் நேரத்தில் ஏற்படும் தாமதமே காரணமாகும். கிரிடின் இரு பக்கங்களில் மின்னூட்ட பேதம் இருப்பதால் ஒரு மின்னோட்டம் நிகழ்கிறது. இந்த மின்னோட்டம் எலெக்ட்ரான்கள் கடக்கும் நேரத்திற்கும், கடக்கும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும், கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்கும், புறவாய் அடுக்கத்திற்கும் நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

மேலே சொல்லப்பட்ட கிரிடு மின்னோட்டத்தில் ஒரு பகுதி மின்திறன் இழப்பிற்கும் காரணமாக அமைகின்றது. இப்படி

இழக்கப்படும் மின்திறனை, கிரிடு, எதிர் மின்வாய் ஆகியவற்றிற்கு இடையேயான ஓர் இணைமாற்று மின்திறனின் அடிப்படையில் கூறலாம். *A* பிரிவு பெருக்கிகளுக்கு இந்த இணைமாற்று மின்திறன் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

$$R = (c \cdot gm \cdot f^2\ t^2)^{-1}$$

இங்கு *gm* என்பது குழாயின் விட்டர், *f* என்பது அடுக்கம், *t* என்பது எதிர்மின் வாயிலிருந்து கிரிடுக்குச் செல்ல ஓர் எலெக்ட்ரானுக்கு ஆகும் நேரம், *c* என்பது குழாயின் திறனையும் அமைப்பையும் பொறுத்துள்ள ஒரு மாறிலி ஆகும். எலெக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர் மின்வாய்க்குச் செல்வதற்கு ஆகின்ற நேரத்தினால் ஏற்படும் விளைவுகளைப் பயன்படுத்தியும் ஒரு சாதாரண டயோடிலிருந்து உயரடுக்க அலைவுகளை உற்பத்தி செய்யலாம். இந்த முறையில் அலையியற்றிகள் வெகு காலத்திற்கு முன்பே தயாரிக்கப்பட்டன. அவைகளில் முதன்மையானது குர்ஸ் (Kurs) என்பவரால் 1919-ல் தயாரிக்கப்பட்ட மின்குழாய் ஆகும். இந்த மின்குழாயின் பாகங்களின் அமைப்பு பலவிதங்களில் தற்காலக் குழாய்களை ஒத்திருந்தது, எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர் மின்வாய்க்கு எலெக்ட்ரான்கள் செல்லும்பாதை எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஒரே அளவினதாக இருந்தது. இந்தக் குழாய் வேலை செய்யும் பொழுது, கிரிடின் மின்னழுத்தம் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தத்துடன் ஒப்பிடும் பொழுது, நேர்க் குறியுடையதாக இருந்தது. எதிர் மின்வாய் வெளியிட்ட எலெக்ட்ரான்கள் இதில் கிரிடினால் கவரப்படுகின்றன. கிரிடு ஒரு கம்பி வலை அமைப்பில் இருந்ததால் எலெக்ட்ரான்கள் அதை ஊடுருவிச் சென்றன. எலெக்ட்ரான்கள், கிரிடுக்கப்பால், கிரிடு நேர் மின்வாய்ப் பகுதியில் திசை வேகத் தளர்ச்சி அடைந்து நேர் மின்வாய்க்கு முன்னால் நின்றுவிடுகின்றன. இந்த வேகத் தளர்ச்சிக்குக் காரணம் அவை கிரிடு மின்னழுத்தத்தால் இழுக்கப்படுவதேயாகும். எலெக்ட்ரான்கள் திரும்பவும் கிரிடால் கவரப்பட்டு எதிர்த்திசையில் கிரிடைக் கடந்து செல்கின்றன. மறுபடியும் அவற்றின் வேகம் குறைவதால் இப்பொழுது கிரிடு எதிர் மின்வாய்ப் பகுதியில், எதிர் மின்வாய்க்குச் சற்று முன்பாக நின்றுவிடுகின்றன. இப்படி எலெக்ட்ரான்கள் கிரிடைப் பொறுத்து அலைவுறுகின்றன. இந்நிலை கிரிடு எலெக்ட்ரான்களைப் பிடித்து அவற்றை நீக்கும் வரையில் நீடிக்கிறது. இம்முறையில் அலைவுகளை உற்பத்தி செய்வதில் விரயமாகும் ஆற்றல் எதிர்க் குறியுடையது (negative) என்று கூறலாம். இது எதிர் மின்தடையைப் போன்றதாகும். உண்மையில் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தம் எலெக்ட்ரான்களுக்கு ஆற்றலைக் கொடுக்கிறது. எலெக்ட்ரான்கள் இந்த

ஆற்றலை இடைவாய்ச் சுற்றுக்கு அளிக்கின்றன. வெளிச்சுற்று கிரிடு அலைவுகளின் அடுக்கத்தில் ஒத்ததிர்வுறுகிறது.

மேற்கண்ட முறையில் பல இடையூறுகள் உள்ளன. அவைகளில் முக்கியமானது எலெக்ட்ரான்களின் கட்ட பேதத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்களாகும். நேரம் ஆக ஆக எலெக்ட்ரான்கள் அதிக அளவு ஆற்றலை வெளியிடுவதால் கிரிடுத் தளத்திலிருந்து அவை அலைவுறுகின்ற தூரம் படிப்படியாகக் குறைகிறது. இதுவே கட்ட பேத மாறுதல்களுக்குக் காரணமாகும். இதனால் எலெக்ட்ரான்கள் கிரிடு ஆய்வுச் சுற்றுக்கு ஆற்றலைக் கொடுப்பதற்குப் பதிலாக ஆற்றலை வாங்கிக்கொள்கின்றன. இதனால் அலைவுகள் சிதைந்து விடுகின்றன. எலெக்ட்ரான்களின் கட்ட பேதம் ஆற்றலைக் கிரிடுச் சுற்றிலிருந்து பெறக்கூடிய அளவுக்கு மாறும் பொழுது அவற்றைப் படிக்குமாறு மின்குழாயை அமைப்பதன் மூலம் மேற்கண்ட விளைவைப் போக்கி விடலாம்.

மேலே சொல்லப்பட்டவற்றில் அலைவுகளின் அடுக்கம் மின்வாய்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தையும் கிரிடு நேர் மின்வாய் ஆகியவற்றின் மின்னழுத்தத்தையும் பொறுத்துள்ளது. இந்த அடுக்கம் வெளி மின் சுற்றை அவ்வளவாகச் சார்ந்திருப்பதில்லை. உருளை வடிவ மின்வாய்களையும் ஒத்த அமைப்புள்ள, இடைவெளியையும் உள்ள மின்குழாயில் உண்டாகும் அலைகளின் நீளம் சென்டி மீட்டர் அலகில் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படுகிறது.

$$\lambda = \frac{672 \cdot d}{\sqrt{v_g}}$$

இங்கு $\lambda$ = அலை நீளம் (சென்டி மீட்டரில்)

$d$ = நேர் மின்வாயின் விட்டம் (சென்டி மீட்டரில்)

$V_g$ = கிரிடு மின் அழுத்தம்.

கிரிடின் மின்னழுத்தம் அதிகமாகவும், நேர் மின்வாயின் விட்டம் குறைவாகவும் இருக்கும் பொழுது மிக அதிக அடுக்கங்கள் உற்பத்தி செய்யப்படும். இவைகள் மின் அலை இயற்றியின் பயனுறு திறனையும் (efficiency) வெளிவரு வளவு திறனையும் பாதிக்கின்றன. எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட மின் குழாயின் கிரிடு மின்னழுத்தத்தை, நல்ல முறையில் மின் குழாய் பயன்படுவதற்கு, கவனமாகத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும்.

மிக அதிக அடுக்கங்களை உற்பத்தி செய்வதற்கு தற்காலத்தில் மாக்னெட்ரான், கிளைஸ்ட்ரான் போன்ற நவீன மின் குழாய்கள் பயன்படுகின்றன. ஒரு மாக்னெட்ரானில் கிடைக்கக் கூடிய அலையின் நீளம் (சென்டி மீட்டரில்) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகிறது.

$$\lambda = \frac{12500}{H}$$

இங்கு $H$ என்பது வெட்டு நிலைக் காந்தப் புலத்தின் வலுவாகும். ஒரு வினாடிக்கு 30,000 மெகாச் சுற்றுகளுக்கும் (ஒரு சென்டி மீட்டர் அலை நீளம்) மேற்பட்ட அடுக்கங்களை மாக்னெட்ரான் அலைவியற்றிகளைக் கொண்டு உற்பத்தி செய்யலாம். மாக்னெட்ரான் அலைவியற்றிகளிலும் பண்பேற்ற முறையே பயன்படுகிறது. ஏனெனில் மாக்னெட்ரான்களில் கிரிடு கிடையாது. எனவே கிரிடுப் பண்பேற்றம் நடப்பதற்கில்லை. மாக்னெட்ரானின் நேர் மின் வாய்ச் சுற்றுக்கு மின்னழுத்தச் சதுரத் துடிப்புகள் கொடுக்கப் படுகின்றன. எனவே வெகு குறைந்த அலை நீளமுள்ள ரேடியோ அடுக்கத் துடிப்புகள் வான வெளியில் அனுப்பப்படுகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Radar premier — *By J. C. Hornung.*
2. Principles and Practice of Radar — *By R. S. H Boulding.*
3. Introduction to Radar — *By Davis Taylor.*

# 19. துடிப்பு ஏற்பிகள்
## (Pulse Receivers)

பரப்பியிலிருந்து வானவெளியில் அனுப்பப்படுகின்ற துடிப்புகளைத் திரும்பப் பெறுவது ஒரு சிக்கலான பிரச்சினையாகும். இதிலுள்ள அமைப்பு மிகக் குறைந்த நீளமுள்ள செவ்வக வடிவமுடைய ரேடியோ அடுக்க அலைகளையும், மிகக் குறைந்த அடுக்க அலைகளையும் பெறக்கூடியதாக இருக்கவேண்டும். துடிப்புகளைத் திரும்பப் பெறுகின்ற எந்தவோர் ஏரியலும் உணர்வு நுட்பம் (sensitivity) உடையதாக இருக்கவேண்டும். அதாவது ஏரியல்களில் (aerials) தூண்டப்படும் மிகக் குறைந்த ரேடியோ சைகை மின்னழுத்தங்களை உணரக்கூடியனவாக அவை இருக்க வேண்டும். அதே சமயத்தில் ஏரியலில் கொடுக்கப்படுகிற சைகை வலுவிற்கும் (signal strength) இரைச்சலுக்கும் (noise) உள்ள தகவு மிக அதிகமாக இருக்கவேண்டும். ஏற்பியிலுள்ள இரைச்சல் அதிகமாக இருந்தால் வலுவற்ற சைகைகளை உணர முடியாமல் போய்விடும்.

ஏற்பியிலுள்ள இரைச்சலை இருவகைகளாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று தவிர்க்க முடியாத இரைச்சல், மற்றொன்று நீக்கக் கூடிய இரைச்சல். இவற்றுள் தவிர்க்க முடியாத ஓசைகளே ஏற்பியின் தொழிற்படு திறனைப் பாதிக்கின்றன. இவை ஏற்பிகளில் ஆரம்ப நிலையிலேயே தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இவைகளுக்குக் காரணம் வெப்பக் கிளர்ச்சி (thermal agitation), எலெக்ட்ரான்கள் வேகமாக வெளிவிடப்படுதல் (shot effect) ஆகிய இரண்டுமாகும். வெப்பக் கிளர்ச்சி என்பது மின் சுற்றிலுள்ள கடத்திகளில் எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு வரையறையின்றி இயங்குவதால் ஏற்படும் இரைச்சலாகும். உலோகங்கள், அவைகளில் புறப்பணி எலெக்ட்ரான்கள் (free electrons) இருப்பதாலேயே, மின்சாரத்தையும் வெப்பத்தையும் கடத்துகின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தியில் தொடர்ந்து ஓடிக்கொண்டே இருக்கின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான்களின் திசைவேகம் கடத்தியின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்

திருக்கும். பொதுவாகக் கடத்திகளில் ஒரு திசையில் மற்ற திசையைவிட அதிக எலெக்ட்ரான்கள் ஓடும். எனவே கடத்தியின் இரு முனைகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்த பேதமுண்டாகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் வரையறையற்ற இயக்கங்களால் இந்த மின்னழுத்தம் நிமிடத்திற்கு நிமிடம் மாறுபடுகிறது. எனவே மின் சுற்றுகளில் தேவையற்ற மின்னழுத்தங்கள் உண்டாகி, அவை சைகைகளுடன் பெருக்கப்பட்டு சைகை மின்னழுத்தங்களை ஓரளவுக்குச் செயலற்றதாக்கி விடுகின்றன. எதிர் மின்வாயிலிருந்து நேர் மின்வாயை நோக்கி ஓர் ஒழுங்கின்றி எலெக்ட்ரான்கள் ஓடுவதே மற்றொரு காரணமாகும். எலெக்ட்ரான்களில் இந்த ஒழுங்கற்ற ஓட்டம் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தில் தேவையற்ற மாறுதல்களை உண்டாக்குகிறது. எனவே ஏற்பியில் பல்வேறு வித இரைச்சல்கள் உண்டாகின்றன. மின்குழாய்களிலுள்ள சூழ் மின்னூட்டம் (space charge) எலெக்ட்ரான் கற்றைகளிலுள்ள இந்த ஒழுங்கீனத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. ஆகவே இந்தவித இரைச்சல் முழுமையாக நீக்கப்படவேண்டுமானால் சூழ் மின்னூட்டம் உருவாவதற்குத் தேவையான அளவு எலெக்ட்ரான்கள் வெளியிடப்படவேண்டும். இதைப் பலவிதங்களிலும் ஒத்த வேறொரு விளைவும் மின்குழாய்களிலுண்டு. இதற்குப் பெயர் சிமிட்டு விளைவு (flicker effect) ஆகும். இது எதிர் மின்வாயின் தளத்தில் சிறிய பரப்புகளில் வெளியிடப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மாறுவதால் உண்டாகிறது.

மைக்ரோ ஃபோன் குழாய்கள், அருகிலுள்ள சுற்றுகளிலிருந்து மின் தூண்டல் ஆகியவற்றின் காரணமாக உண்டாகும் இரைச்சல் நீக்கக் கூடிய இரைச்சல் எனப்படும். அருகிலுள்ள சுற்றுகளில், விநாடிக்கு ஐம்பது சுற்றுகளில் இரு திசை மின்னோட்டம் செல்வதால் 'ஹம்' (hum) என்ற ஒலி உண்டாகிறது. இந்த 'ஹம்' என்ற சிறிய ஒலி ரேடியோ அடுக்கப் பெருக்கிகளிலும், இடை நிலை அடுக்கப் பெருக்கிகளிலும் இன்னல்களை விளைவிப்பதில்லை. ஆனால் மிகக் குறைந்த அடுக்கங்களில் அதிகமான பெருக்கம் தேவைப்படும் பொழுது இந்த 'ஹம்' என்ற ஒலி இன்னலை விளைவிக்கின்றது. மைக்ரோஃபோன் ஓசைகள் மின் குழாய்கள் அதிர்வுறுதலால் உண்டாகின்றன. குறிப்பாகக் குறைந்த அடுக்க நிலைகளில் இத்தகைய அதிர்வுகள் குழாய்களின் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தில் மாறுதல்களை விளைவிக்கின்றன. இந்த மாறுதல்கள் செவியுறு அடுக்கங்களிலிருப்பதால் அவைகளும் குறி மின்னழுத்தத்தோடு பெருக்கப்படுகின்றன. ரேடியோ அடுக்க அலைகளில் மின் குழாய்களின் அதிர்வுகள் பெருக்கத்தைச் சிறிதளவே மாறச் செய்யும்.

ஒரு மின் குழாயில் அல்லது அதைச் சூழ்ந்துள்ள சுற்றில் உண்டாகும். தேவையற்ற இரைச்சல் தேவைப்படும் ரேடியோச் சைகையை எந்த அளவுக்குப் பாதிக்கின்றது என்பதைப் பொறுத்தே அந்த இரைச்சலின் முக்கியத்துவம் கணிக்கப்படுகிறது. உதாரணமாக ஒரு மின் குழாயில் சைகை மின்னழுத்தம் ஒரு வோல்ட்டாக இருக்குமானால், ஒரு சில மைக்ரோ வோல்ட்டுகள் உள்ள இரைச்சலைக் கருத்தில் கொள்ளாது நீக்கிவிடலாம். ஆனால் ஓர் ஏற்பியின் முதல் ரேடியோ அடுக்கு நிலையில் சைகை மின்னழுத்தமே ஒரு மைக்ரோ வோல்ட்டிருக்குமானல், இரைச்சலும் ஒரு மைக்ரோ வோல்ட் அளவில் இருந்தால், இது ஒரு பிரச்சனையாகிவிடுகிறது.

திருப்பப்பட்டு வரும் துடிப்புகளைப் பெறுவதற்கு ஏற்பிகளில் பெரும்பாலும் கலக்கிப் பிரித்தல் முறையே கையாளப்படும். சைகைக்கும் இரைச்சலுக்கும் உள்ள தகவு மிக அதிகமாக இருப்பதற்காக, கலப்பிக்கு (mixer) முன்பு, குறைந்தது இரண்டு ரேடியோ அடுக்க நிலைகளாவது ஏற்பியிலிருக்கும். பெரும்பாலும் ஏற்பிகளில் சைகைகளுக்கும் இரைச்சலுக்கும் உள்ள தகவு முதல் மின் குழாயையே பொறுத்திருக்கிறது. ஏரியலிலிருந்து மின்னோட்டத்தை நேரடியாகக் கலப்பிக்குக் கொடுப்பதால் ஏரியலின் உணர்வு நுட்பம் குறைவதோடு அல்லாமல் சைகைக்கும் இரைச்சலுக்குமுள்ள தகவு குறைகிறது. ஏனெனில் ஒரு கலப்பியின் மின் குழாய் பெரும்பாலும் சைகைப் பெருக்கத்தை ஏற்படுத்துவது இல்லை; பதிலாக ரேடியோ அடுக்க நிலையில் அதேயளவு மின்னோட்டத்திற்கு நான்கு அல்லது ஆறு பங்கு இரைச்சலை அதிகரிக்கிறது. இந்த நிலையில் சைகையையும் நான்கு அல்லது ஆறு பங்கு அதிகரிக்க வேண்டும்.

ஒரு துடிப்பு ஏற்பி, ஒரு தொலைக் காட்சி ஏற்பியை அநேக விதங்களில் ஒத்திருக்கும். மேலும் இது ஒரு சாதாரணக் கலக்கிப் பிரித்தல் ஏற்பியிலிருந்து பெருமளவு மாறுபட்டிராது. ஏனெனில் அவைகளின் தொழிற்படும் முறைகள் ஏறக்குறைய ஒரே மாதிரியானவை. ஆனல் அவற்றின் நுணுக்கங்களில் மாறுபாடுகள் உண்டு. ரேடியோ அடுக்கப் பெருக்கங்களில் மாறுபாடுகளுக்கு மிக அதிகப் பட்டை அகலங்களே (band width) காரணமாகும். துடிப்புகளின் அமைப்பைப் பாதுகாக்க வேண்டுமானல் இந்த அகலமான பட்டைகள் அவசியமாகும். கணித முறையில் செவ்வகத் துடிப்புகளையும் சைன் அலைகளையும் சோதிக்கும் பொழுது அவைகளுக்குள் ஒரு சிறந்த வேறுபாட்டைக் காணலாம். ராடார் பரப்பியல் செவ்வகத் துடிப்புகளும் சாதாரண ஒலி பரப்புப் பண்பேற்றத்தில் சைன் அலைகளும் உபயோகப்படுகின்றன

என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. உதாரணத்திற்காக ஒரு சதுரத் துடிப்பையும், ஒரு சைன் அலையையும் எடுத்துக் கொள்வோம். $E$ என்பது கண நேர மின்னழுத்தமென்றும், $E$ என்பது உச்ச மின்னழுத்தமென்றும் கொண்டால் சைன் அலைக்கு

$$e = E \sin 2\pi ft.$$

சதுரத் துடிப்பிற்கு,

$$e = \frac{4E}{\pi} \left[ \sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots \dots \dots \right]$$

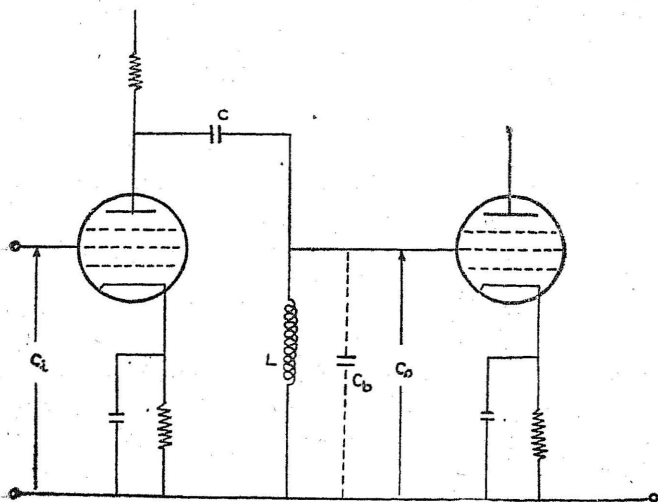
இங்கு $\omega = 2\pi f.$

சைன் அலைக்கான சமன்பாட்டில் ஒரே ஓர் உறுப்பு உள்ளது. ஆனால் சதுரத் துடிப்பிற்கான சமன்பாட்டில் எண்ணற்ற பதங்கள் உள்ளன, ஒவ்வொரு பதமும் வரிசையாக அதிகரிக்கின்ற அடுக்கங்களைக் குறிக்கின்றது. உண்மையில் இப்படி எண்ணிறந்த சைன் அலைவுகள் ஒரே சமயத்தில் கிளம்புவதுதான் துடிப்பின் முதல் முனையின் அதிகமான வாட்டத்திற்குக் காரணமாகும். இதைப் போன்ற எண்ணிறந்த தொடர்கள் எல்லாச் செவ்வகத் துடிப்புகளின் தனிப் பண்புகளாகும். அந்தத் தொடர்கள் ஆரம்பத்திலிருந்து இறுதி வரை உள்ள அடுக்கங்களைக் குறிப்பிடுகின்றன.

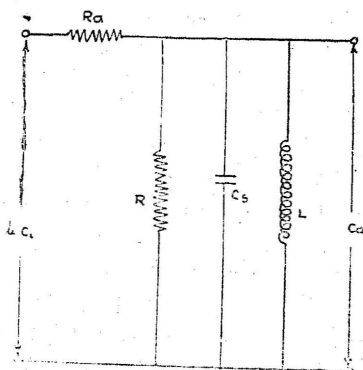
செவ்வகத் துடிப்புகளைப் பெற்று அவைகளை நல்ல முறையில் திருப்ப உண்டாக்குவதற்கு ஓர் ஏற்பி அமைப்பு சுழி உட்பட எல்லையற்ற பட்டை அகலத்தைப் பெறக்கூடியதாக இருக்க வேண்டும். அதாவது அது ஒரு திசை மின் அழுத்தத்தையும் பெறவேண்டும். இது நடைமுறையில் இயலாத காரியம். ஆனால் மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டில் பத்து உறுப்புகளை எடுத்துக் கொண்டாலே ஒரு நல்ல செவ்வகத் துடிப்புக் கிடைத்துவிடும், அதாவது பட்டையின் அகலம் ஒரு விநாடிக்கு இருபது மெகா சுற்றுகள் என்று ஆகும். இதுவும் இயலாத காரியம். எனவே, நடைமுறையில் பட்டையின் அகலம் மூன்று அல்லது ஐந்து மெகா சுற்றுகளிலிருந்து குறைந்த எல்லை முப்பது சுற்றுகள் வரை வைக்கப்பட்டுள்ளன. சாதாரண ரேடியோ ஒலிபரப்பியில் இந்தப் பட்டை அகலம் ஒரு விநாடிக்கு ஒன்பது கிலோ சுற்றுகள் என்பது நாம் அறிந்ததொன்றாகும். ஒவ்வொரு நிலையிலும் குறைந்த அளவு நெருக்கத்தைக் கொண்டே இத்தகைய பட்டை அகலத்தைப் பெற முடியும். எனவே, பெரும்பாலும் இரண்டு ரேடியோ அடுக்க நிலைகளும், சில சமயங்களில் ஐந்து நிலைகளும் கூட உபயோகத்தில் உள்ளன. ஒரு விநாடிக்கு ஐம்பது மெகா சைக்கிள்களுக்கும்

மேற்பட்ட அடுக்கங்களில் மின்குழாயில் மிகக் குறைந்த மதிப்புள்ள அகமின் தடையானது பெருமளவு ஏற்புதலைப் பாதிக்கிறது. எனவே, அநேக ரேடியோ அடுக்க நிலைகள் தேவைப்படுகின்றன.

இசைவிக்கப்பட்ட கிரிடு இணைப்புச் சுற்றையுடைய ஒரு ரேடியோ அடுக்க மின் சுற்று, படம் 19·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 19·1 (a)
உண்மைச் சுற்று




படம் 19.1 (b)
இணைமாற்றுச் சுற்று
இசைவிக்கப்பட்ட கிரிடு இணைப்பு—R. F. முன்சுற்று

படம் (a)-ல் இருப்பது உண்மையான மின்சுற்று. (b)-ல் காட்டப்பட்டிருப்பது இணைமாற்று மின்சுற்று. இணைமாற்று மின் சுற்றில் மின்தேக்கி c ஐப் பொதுவாக விட்டுவிடுகிறோம். அவ்வாறு கம்பிச் சுருளில் ரேடியோ அடுக்க மின்தடையையும் விட்டுவிடுகிறோம். ஒத்ததிர்வில் (resonance) மின்சுற்றின் எதிர்ப்பு மின்தடை $R$-க்குச் சமமாகும். மின்குழாயின் இருதிசை மின் தடை (A. C. resistance) $R$ ஐ விட அதிகமாக இருக்கும் வரையில் இலாபநிலை (stage gain) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

$$\frac{eo}{ei} = gm.R.$$

இங்கு. $gm$ என்பது பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன்.

(ஆம்பியர் / வோல்ட்)

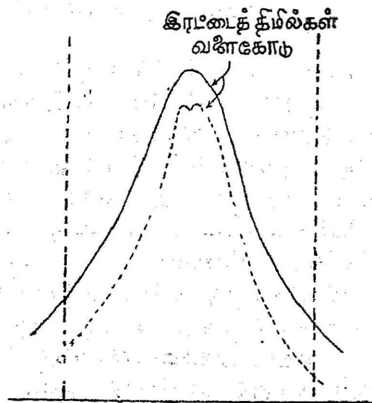
$R$ என்பது மின்தடை (ஓம்கள்)

பட்டையகலம் $n\,(=f_2 - f_1)$ மேற்கண்ட சுற்றின் மின்தடையையும் மின்தேக்கித் திறனையும் பொறுத்திருக்கும் எனவும், பெருக்கம் பட்டையகலத்திற்கும் மின்தேக்கித் திறன் $Cs$-க்கும் எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும் எனவும், மின்குழாயின் பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறனுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும் எனவும் காண்பிக்கலாம். சாதாரண மின்குழாய்களைக் கொண்டு அதிகப் பெருக்கங்களை அடையமுடியாது. எனவே உயர் அடுக்கங்களில் அதிகப் பெருக்கங்களைப் பெறுவதற்குத் தொலைக் காட்சியைப் போலவே இங்கும் தொலைத்தன்மை வாய்ந்த மின்குழாய்கள் கையாளப் படுகின்றன. சாதாரணமாக 1000 ஓம் மின் தடையும் (load resistance) பரிமாற்றுக் கடத்துத் திறன் 9 மில்லி — ஆம்பியர்/ வோல்ட்டும் உள்ள குழாய்கள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. பிறகு இலாப நிலை மதிப்பு நான்கு அல்லது ஐந்து பங்கு அதிகரிக்கிறது. குறிப்பிட்ட பட்டை அகலத்தைக் கையாளுவதற்கு இதுவே சிறந்ததாகும்.

ரேடியோ அடுக்க நிலைகளுக்கும் இடைநிலை அடுக்க நிலைகளுக்கும் ஒரு துடிப்புக் கலக்கிப் பிரித்தலில் (pulse superhatro-dyne) இணைப்பு முறைகளில் எந்தவித மாறுதல்களும் இல்லை. அவை தொழிற்படுகின்ற குறைந்த அடுக்கங்களில்தான் சில மாறுதல்கள் உள்ளன.

துடிப்பு ஏற்பிகளில் ஐந்து அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இடை நிலை அடுக்க நிலைகள் உபயோகத்தில் உள்ளன எனவும், ஒவ்

வொன்றிலும் இலாப நிலை சிறிதளவே உள்ளது எனவும் மேலே கூறினோம். எல்லா இணைப்புகளும் ஒரே அடுக்கத்தில் இசைவுறும்படி பெருக்கியை அமைத்தால் சுற்றிலுள்ள மொத்த விளைவு ஒவ்வொரு பகுதியிலும் உள்ள விளைவுகளின் பெருக்கற் பலனாகும். நடைமுறையில் சுற்றுகளெல்லாம் ஒரே அளவிற்கு இயைவிக்கப் படுவதில்லை. தளர்நடை இசைவித்தல் (stagger tuning) என்ற முறை குறிப்பிட்ட பட்டையகலத்தைப் பெறுவதற்குப் பெரும்பாலும் கையாளப்படுகிறது. தொடக்கத்தில் ஒரே அளவிற்கு இயைவிக்கப்பட்ட இரு மின் சுற்றுகள் மெதுவாகச் சம அளவில் எதிர்த்திசையில் இசைவில் மாறுதலடைந்தால், பரிவு வளைக்கோடு (response curve) அகன்று உச்சியில் தட்டையாக மாறுகிறது. இந்த வேறுபாடு அதிகரிக்கும்பொழுது உச்சியின் மையம் அமிழ்ந்து வளைகோட்டில் படம் 19·2-ல் காட்டியதுபோல இரு திமில்கள் (hump) உண்டாகின்றன.



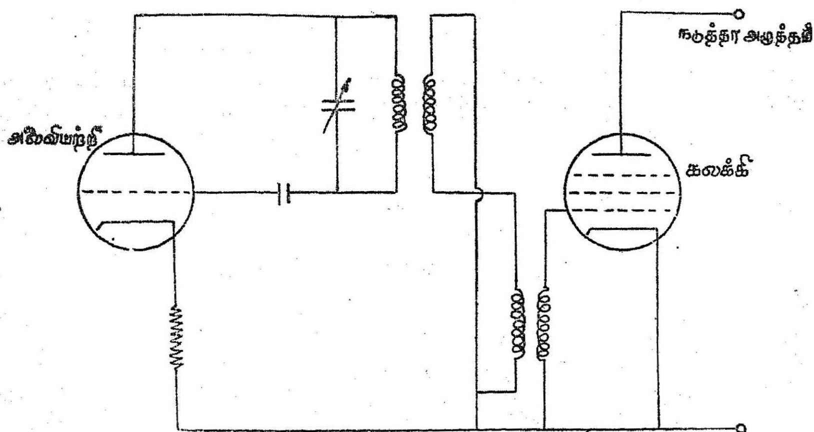

படம் 19·2.

பரிவு வளைகோடு

இந்தத் திமில்கள் விட்டுவிட்டு வரையப்பட்டுள்ள கோட்டினால் காட்டப்பட்டுள்ளன. இப்படி இசைவை எதிர்த் திசையில் மாறுபடுத்துவதால் பட்டையின் அகலம் உச்ச மதிப்பைப் ($f_1$-லிருந்து $f_2$-க்கு) பெறுகிறது. இந்த முறைக்குத் தளர்நடை இயைவித்தல் என்பது பெயர். இது இடைநிலை அடுக்கம் முழுவதும், சில சமயங்களில் ரேடியோ அடுக்க நிலைகளிலும் பயன் படுகிறது. இவ்வாறு 5 இசைவிக்கப்பட்ட சுற்றுகளைக்கொண்டு, முதலாவது மூன்ருவது சுற்றுகளை 9·5 மெகா-சுற்றுகள்/விநாடிக்கும், இரண்டாவது, நான்காவது சுற்றுகளை 12·5 மெகா சுற்றுகள்/

விநாடி-க்கும், 5-வது சுற்றை உண்மையான இடைநிலை அடுக்கத்திற்கு. அதாவது இங்கு 11 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-க்கும். இசைவிக்கலாம். இந்த முறையில் மற்ற முறைகளைவிடக் குறிப்பிட்ட எண்களையுடைய மின்குழாய்களைப் பயன்படுத்தும்பொழுது அதிகப் பெருக்கத்தைப் பெறலாம். ஏனெனில் மின் சுற்றின் பல பகுதிகள் (அதாவது ஒவ்வொரு நிலையிலும் உள்ள தனித்தனிச் சுற்றுகள்) அடுக்கம் எதிர்த் திசையில் சம அளவில் மாறுபடும் பொழுது, அவை ஒரே அடுக்கத்திற்கு இசைவிக்கும் பொழுதைவிட, நன்கு செயல்படுகின்றன.

ஒரு துடிப்பு ஏற்பியின் அடுக்க மாற்றி (frequency changes) ரேடியோவிலுள்ளது போலவே வழக்கமான அமைப்பையுடையது. அதில் பொதுவாக ஒரு ரேடியோ அடுக்கப் பென்டோடு, ஒரு தனியான அலைவியற்றி ஆகியவை, படம் 19·3-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் உள்ளன.



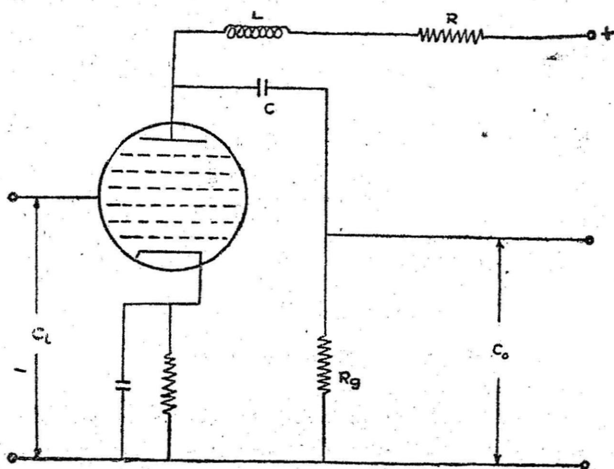

படம் 19·3.

துடிப்பு ஏற்பியின் அடுக்க மாற்றி

டயோடு கலப்பிகளும் பெரும்பாலும் உபயோகத்தில் உள்ளன. இவற்றில் டயோடு உண்மையான கலப்பியாகப் பயன்படுகிறது. ஏனெனில் சைகை அடுக்கத்தை டயோடு நேர் மின்வாய்க்கும், அலைவியற்றியின் வெளிப் பகுதியை டயோடின் எதிர் மின்வாய்க்கும் கொடுக்கிறோம். இடைநிலை அடுக்கமும், இடைநிலை அடுக்கப்பட்டையகலமும் அதிகமாக இருப்பதால், பொதுவாக

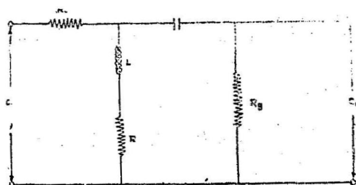
மற்றச் சுற்றுகளைப்போல் இடையூறுகள் இங்கு இருப்பதில்லை. சென்டிமீட்டர் ராடார்களில் ஒரு கலப்பி மின்குழாயாகப் படிகங்கள் தற்போது மறுபடியும் உபயோகத்திற்கு வந்துள்ளன என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. இவைகள் ரேடியோ அடுக்கங்களில் மிக அதிகமாக இருப்பதால் (மூவாயிரம். 3,000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி) அலையியற்றியின் அடுக்கம் குறைந்தது 2,900 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி ஆவது இருத்தல் வேண்டும் அப்பொழுது தான் கலப்பியைக் கட்டுப்படுத்த முடியும். மின்குழாய் அலையியற்றி தேவையான உள்வினை (local) அலைகளை உற்பத்திச் செய்கிறது. இது சைகையலைகளோடு வாங்கப்பட்டு சாதாரண முறையில் வெளிப் பகுதியில் பெருக்கப்படுகிறது.

பகுத்தலுக்குப் பிறகு திருத்தப்பட்ட துடிப்புகள் குறைந்தடுக்கப் பெருக்கிகளுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இந்தப் பகுத்தல் பெரும்பாலும் டயோடு மின்குழாய்களில் நடைபெறுகிறது. இந்தப் பெருக்கிகளின் வெளிவரும் பகுதி எதிர் மின் கதிர்க் குழாயுடன் இணைக்கப்படுகிறது. பிறகு துடிப்புகள் திரையில் ஒளிப் பொட்டாகத் தோன்றுகின்றன. எனவே ஏற்பியிலுள்ள வெவ்வேறு நிலைகள் தொடர்ச்சியாக வருகின்ற செவ்வகத் துடிப்புகளை உருக்குலையாமல் கையாளவேண்டும். மேலும் மிகக் குறைந்த அடுக்கங்களிலிருந்து மிக அதிக அடுக்க அகலங்களையும் (pass - band) கையாளவேண்டும்.




படம் 194 (a)
ரேடியோ அடுக்கச் சுற்று

படம் 19·4 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள மின்சுற்றுத் துடிப்புகள் பெருக்கத்திற்குப் பொதுவாகப் பயன்படுகின்றன. இதில் ஒரு மின் தடை மின்நிலைமைச் சுற்றுள்ளது. இந்தச் சுற்றின் இணை மாற்றுச் சுற்று, படம் 19·4 (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. நடுத்தர, குறைந்த அடுக்கங்களில் $L$-ன் மின்நிலமம் மிகமிகக் குறைவானது. எனவே, மின்குழாயின் பெருக்கிக் குணங்கள் ஒரு சாதாரண மின்தடை இணைப்பின்பொழுது உள்ளவைபோல இருக்கும். மிக அதிக அடுக்கங்களில் மின் நிலமத்தின் மதிப்பு




படம் 19·4 (b)

ரேடியோ அடுக்க இணைமாற்றுச் சுற்று

அதிகமாகிறது. எனவே பொதுவாக இறங்குகின்ற பெருக்கக் குணங்கள் ஒரு விநாடிக்கு 2 மெகா சுற்றுகள் வரை ஒரு நிலையில் வைக்கப்படுகின்றன. இதற்குமேல் இணைதட (shunt) மின்தேக்கிகளில் மின் நிலமத்திற்கு எதிராக வேலை செய்வதால் சுற்றின் குணங்கள் மாறுதல் அடைகின்றன. இத்தகைய சுற்றுகள், திருத்தமான முறையில் அமைக்கப்படும்பொழுது, இணைப்பு மின் நிலமத்தைக் கருதாவிடில், சுமார் 70 சதவீதப் பெருக்கத்தைச் சீரான முறையில் கொடுக்கும். பொதுவாக, பெருக்கம் குறைவாக இருந்தாலும் அதிக வாட்டமுடைய பென்டோடு மின்குழாய்களைப் பயன்படுத்திப் பெருக்கத்தை அதிகரிக்கலாம். நடைமுறையில் ரேடியோ அடுக்கங்களுடையனவும், நடுநிலை அடுக்கங்களுடையனவும், குறிப்பிட்ட பட்டையகலங்கள் காரணமாக உண்மையாகவே செவ்வக வடிவுடைய துடிப்புகள் பெருக்கியின் கிரிடில் தோன்றுவது இல்லை. ஒரு விநாடிக்கு 30 கிலோ சுற்றுகளிலிருந்து இரண்டு மெகா சுற்றுகள் வரை ஏற்படக்கூடிய பரிவு, ராடாரின் எல்லா வகைச் செயல்களுக்கும் போதுமானது.

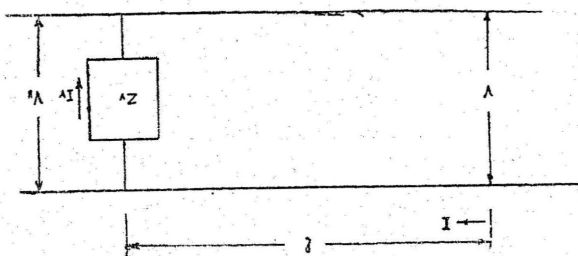
## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Radio Engineering and Electronics — *Terman*
2. Radar Premier — *J. L. Honung*
3. Introduction to Radar systens — *Merrill I. S. Kolnik*

# 20. ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் கொள்கை

## (Theory of Transmission lines)

மின் காந்த நிறமாலையில் (electro-magnetic spectrum) மைக்ரோ அலைகள் என்று அழைக்கப்படுவனவற்றை நிர்ணயித்துக் கூறுவது கடினமாகும். ஆனால் குறைந்த அதிர்வெண் உடைய பகுதி 300 மெகா சுற்றுகளுக்கும், 3000 மெகா சுற்றுகளுக்கும் இடையிலும், உயரடுக்கப் பகுதி மில்லி மீட்டர் பகுதியிலும் இருக்கின்றன. இந்த மில்லி மீட்டர் பகுதியில் ரேடியோ புறச் சிவப்பு (infra-red) தொழிற்படு முறைகள் ஒன்றன் மீது ஒன்று பொருந்துகின்றன. ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி என்பது மின் காந்த ஆற்றலைத் தொடர்ச்சியாக ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு எடுத்துச் செல்வதற்கான சாதனமாகும். இவைகளில் மின் காந்த ஆற்றல், மின் காந்த அலைகள் மூலம் எடுத்துச் செல்லப்




படம் 20·1.

*சீரான ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி.*

படுகின்றது. இந்த அலைகளை வழிகாட்டி மின் காந்த அலைகள் (guided electro magnetic waves) என்று கூறலாம். இந்த அலைகள் மின் காந்தப் புலன்களால் உருவாக்கப்பட்டு 'மாக்ஸ்வெல்'

(Maxwell) என்பாரின் சமன்பாடுகளுக்கொப்ப ஒன்றோடொன்று இயைந்து நேரத்துடன் வேறுபடுகின்றன. இந்த வேறுபாடுகள் சைன் வளைவுக் கோட்டின் அமைப்பில் உள்ளன. இந்த ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகள் முழுவதாகவோ அல்லது ஒரு பகுதியாகவோ, மின்சாரத்தைக் கடத்தக் கூடியதாக இருந்தால், இதன் வழியே ஒரு மின்னோட்டம் நிகழும்.

இரண்டு தனித்தனியான கடத்திகளால் ஆன ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியைக் கவனிப்போம். கம்பியின் வழியே ஒரு மின் காந்த அலை செல்லும் பொழுது, கம்பிகளுக்கிடையே $V$ என்ற மின்னழுத்தமும், கம்பியில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் $I$ என்ற மின்னோட்டமும் நிகழும். ஒரு சென்டி மீட்டர் நீளத்திற்கு மின் னெதிர்ப்பு $Z$ ஆனால்,

$$Z = R + j\omega L \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

இங்கு $R$ என்பது ஒரு சென்டி மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியின் இணை மாற்றுத் தொடர் மின் தடையாகும். $L$ என்பது ஒரு சென்டி மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியின் மின் நிலைமம் ஆகும். கடத்திகளுக் கிடையேயுள்ள $V$ என்ற மின்னழுத்தம், ஒரு செ.மீ.-க்கு $Y$ மதிப் புடைய இணை மாறு மின் ஏற்பகத்திற்குச் சமமாகும். (இணை மாறு மின் ஏற்பகம் = shunt admittance) இது,

$$Y = G + j\omega C \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

இங்கு $G$ என்பது 1 செ.மீ. நீளத்திற்கு இணைமாற்றுக் கடத்துத் திறனாகும். இங்கு $R$, $L$, $G$, $C$ ஆகிய நான்கும் அலைகளின் அடுக்கத்துடன் மெதுவாக மாறும் தன்மையுடையன.

ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் வழியே மின்னழுத்தமும், மின்னோட்டமும் பரவியிருப்பது கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளால் பெறப்படுகின்றன.

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad \dots \quad (3)$$

இங்கு $\gamma$ என்பது பரப்பல் மாறிலி (propagation constant) எனப் படும். இந்தப் பரப்பல் மாறிலி பொதுவாக ஒரு பல் கூட்டு எண் (complex number) ஆகும். இதில் உண்மையான பகுதி, கற்பனைப் பகுதி என இரு பகுதிகள் உள்ளன.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

இங்கு $\alpha$ என்பது மெலிப்பான் மாறிலி (attenuation constant) என்றும், $\beta$ என்பது கட்டபேத மாறிலி என்றும் அழைக்கப்படு கின்றன.

மேலும் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பு (characteristic impedance)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

அல்லது சிறப்பியல்பு மாறுமின் ஏற்பகம் $Y_0 = \frac{1}{Z_0}$ ஆகும். இதுவும் ஒரு பல்கூட்டு எண்ணாகும். ஆனால் இதன் பெரும் பகுதி உண்மையானதாகும்.

உயரடுக்கங்களில், மின் தடையும், கடத்துத் திறனும் மிகச் சிறியவையாக இருக்கும் பொழுது $Z_0 \triangleq \sqrt{\frac{L}{C}}$ ஆகும். மின்னோட்டம் $I_r = \frac{V_r}{Z_r}$. மின் தடையிலிருந்து $L$ செ. மீ. தூரத்தில் கம்பிகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் $V$ என்றும், கம்பியில் நிகழும் மின்னோட்டம் $I$ என்றும் கொண்டால்,

$$V = V_r \cosh \gamma l + I_r Z_0 \sinh \gamma l \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$I = I_r \cosh \gamma l + \frac{V_r}{Z_0} \sinh \gamma l \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

இவைகளை,

$$V = V_1 e^{\gamma l} + V_2 e^{-\gamma l} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$I = I_1 e^{\gamma l} - I_2 e^{-\gamma l} \quad \ldots$$

$$= \frac{V_1}{Z_0} e^{\gamma l} - \frac{V_2}{Z_0} e^{\gamma l} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

என்று எழுதலாம்.

குணகங்களின் மதிப்புகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறலாம்.

$$\frac{V_r}{I_r} = Z_r \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$V_r = V_1 + V_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$I_r = I_1 - I_2 = \frac{V_1}{Z_0} - \frac{V_2}{Z_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$V_{10}$ என்பது $V_1$-ன் உச்ச மதிப்பானால்

$$V_1 = V_{10} e^{j\omega t}.$$

$$V_{10} e^{j\omega t} e^{\gamma l} = V_{10} e^{j\omega t} (\alpha + j\beta)l.$$

$$= V_{10} e^{\alpha l} e^{j(\beta l + \omega t)}.$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் அடங்கியுள்ள அறிவியல் விளைவுகள் இப்பொழுது புலனாகின்றன. சமன்பாடு (8)-ல் முதல் பகுதி ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியில் தடையை நோக்கிச் செல்லுகின்ற மின்னழுத்த அலைகளையும், இரண்டாவது பகுதி எதிர்த் திசையில் செல்லுகின்ற அலைகளையும் குறிக்கும். ஒவ்வோர் அலையின் மின்னழுத்தமும், மின்னோட்டமும் அவற்றின் வீச்சு, கட்டபேதம் ஆகியவற்றுடன் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பால் $\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = Z_0$ என்ற சமன்பாட்டினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள மின்னழுத்தம், மின்னோட்டம் ஆகியவை அந்தப் புள்ளியில் இரு திசைகளிலும் செல்லுகின்ற மின்னழுத்த, மின்னோட்ட அலைகளின் வெக்டர் கூட்டு மதிப்பிற்குச் சமமாகும். மேற்கண்ட சமன்பாடுகளை விடுவித்தால் அவை $\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$ என்ற மதிப்பைக் கொடுக்கும்.

ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியில் எண்ணற்ற அலைகள் நிகழக்கூடும். ஒவ்வோர் அலைக்கும் சிறப்பான மின் புலமும், காந்தப் புலமும் உருவாகும். இந்த எண்ணற்ற அலைகளை மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். இரண்டு கடத்திகள் மட்டும் உள்ள பொழுது முதற்பகுதி முக்கிய வகை (principal mode) எனப்படும். மற்ற இரு வகைகளும் குறுக்கு மின் வகை (transverse electric mode) குறுக்குக் காந்த வகை (transvrse magnetic mode) எனப்படும். முக்கிய வகையில் ஆற்றல் செல்லுகின்ற திசைக்குச் செங்குத்தான தளங்களில் மின் புலமும், காந்தப் புலமும் இயங்குகின்றன. எனவே தான் சிற்சில சமயங்களில் இது குறுக்கு மின்காந்த அலைகள் (transverse electro magnetic waves—TEM) என்று அழைக்கப்படுகின்றது, ஆற்றல் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான தளத்தில் மின்புலம் அமைந்து, காந்தப் புலத்தின் ஒரு பகுதி ஆற்றல் திசையிலேயே அமைந்திருந்தால். இந்த அலைகளுக்கு $H$ அலைகள் அல்லது குறுக்கு மின் அலைகள் (transverse electric —TE waves) என்பது பெயர். ஆற்றல் செல்லும் திசைக்குச்

செங்குத்துத் தளத்தில் காந்தப்புலம் அமைந்து, மின்புலத்தின் ஒரு பகுதி ஆற்றல் செல்லும் திசையில் அமைந்திருந்தால் இந்த அலை களுக்கு E அலைகள் அல்லது குறுக்குக் காந்த அலைகள் (transverse magnetic - TM waves) என்பது பெயர். உயரடுக்கங்களில் கடத்தாப் பொருளியல்புகள் மாருதிருக்கும் பொழுது கம்பியின் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பு முக்கிய வகையைப் பொறுத்தவரையில் அடுக்கத்தைப் பொறுத்து மாருது. ஆனல் மற்ற வகைகளில் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று மாறுபடும்.

ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் வழியே மின்காந்த அலைகள் செல்லும்பொழுது கம்பியில் ஏற்படும் வெப்பம் முதலியவற்ருல் ஆற்றல் விரயம் ஏற்பட்டு அலைகள் தொடர்ந்து மெலிவுறுகின்றன. இது சமன்பாடு (8) ஆல் புலனுகின்றது. மேலே சொல்லப்பட்ட மெலிப்பான் மாறிலி அலைகளின் செறிவுக் குறைவை அளக்கப் பயன்படும்பொழுது அது 1 செ.மீ. நீளத்திற்குரிய நேப்பர் (Neper) அலகுகளில் இருக்கும். இந்த மெலிப்பான் மாறிலியை டெஸிபல் களில் கூறுதற்கு, நேப்பரில் $\alpha$ மதிப்பை 8·69 ஆல் பெருக்க வேண்டும். அதாவது,

$$\alpha\left(\frac{\text{டெஸிபல்}}{\text{செ. மீ.}}\right) = 8{\cdot}69\,\alpha\left(\frac{\text{நேப்பர்}}{\text{செ. மீ.}}\right)$$

மெலிவு குறைவாக இருக்கும் பொழுது

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{G}{2I_0}\ \frac{\text{நேப்பர்}}{\text{செ. மீ.}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$G = 0$, $R \neq 0$ ஆக இருக்கும் பொழுது $Q = L\omega/R$ ஆனல்,

$R$, சிறியதாக இருக்கும் பொழுது,

$$\alpha = \frac{\beta}{2Q} = \frac{R}{2Z_0}$$

$R$, பெரியதாக இருக்கும் பொழுது,

$$\alpha = \frac{\omega\sqrt{LC}}{\sqrt{2Q}}\left(1 - \frac{Q}{2}\right) \doteq \frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{2Q}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

இவற்றுள் சமன்பாடு (13) மைக்ரோ அலைகளுக்கும் (micro waves), சமன்பாடு (14) மெலிப்பான்களுக்கும் பொருந்தும்.

$G \neq 0$, $R = 0$ ஆக இருக்கும் பொழுது

$$Q = \frac{C\omega}{G} \text{ ஆகும்.}$$

$G$, சிறியதாக இருக்கும் பொழுது,

$$\alpha = \frac{\beta}{2Q} = \frac{G}{2Y_0} \text{ ஆகும்.}$$

$G$, பெரியதாக இருக்கும் பொழுது,

$$\alpha = \frac{\omega\sqrt{LC}}{\sqrt{2Q}}\left(1 - \frac{Q}{2}\right) \cong \frac{\sqrt{LC}}{\sqrt{2Q}} \text{ ஆகும்.}$$

மைக்ரோ அலைகள் பரப்புதலில் ஆற்றல் ஐந்து விதங்களில் விரயமாகின்றது. (1) கடத்திகளின் மின்தடையால் ஆற்றல் விரயமாதல். (2) ஃபெரோ காந்தப் (ferro magnetic) பொருள்களின் தயக்கத்தால் (hysterisis) ஆற்றல் விரயமாதல். (3) மின்கடத்தாப் பொருள்களால் ஆற்றல் விரயமாதல், (4) கப்பியிலிருந்து கதிர் வீச்சு மூலம் ஆற்றல் விரயமாதல், (5) மின் எதிர்ப்புகள் சரியாகப் பொருந்தாமையால் ஆற்றல் விரயமாதல். மைக்ரோ அலைகளைப் பரப்புதலில் மேற்கண்ட முறைகளில் ஆற்றல் விரயமாவதைத் தடுக்க எல்லா முயற்சிகளும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன.

மைக்ரோ அடுக்கங்களில் மின்னோட்டம், கடத்திகளின் புற அடுக்குகள் வழியே நிகழுகின்றது. கடத்திகளின் புறத்தே மின்னோட்டத்தின் செறிவு உச்சமாகவும், கடத்திகளுக்கு உள்ளே செல்லச் செல்ல செறிவு 'அடுக்குக்குறியிய'லாகவும் குறைகின்றது. எவ்வளவு ஆழத்தில் மின்னோட்டத்தின் செறிவு புற அடுக்கிலுள்ள $\frac{1}{e}$ ஆகக் குறைகிறதோ அந்த ஆழத்திற்கு புறப்பரப்பு ஆழம் ($\delta$) என்பது பெயர். (புறப்பரப்பு ஆழம் = Skin depth)

$$\delta = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\lambda\rho}{30\mu}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

இங்கு $\lambda$ = புறப்பரப்பு அலைநீளம் (free-space wave length)

$\rho$ = கடத்தியின் தடை

$\mu$ = கடத்தியின் உட்புகுதிறன் (permeability) ஆகும்.

செப்புக்கு உட்புகு திறன் ஒன்று, மின்தடை $\rho = 1{\cdot}72 \times 10^{-6}$ ஓம் - செ. மீ.; $\lambda = 10$ செ.மீ. ஆக இருக்கும்பொழுது, $\delta = 1{\cdot}2 \times 10^{-4}$ செ. மீ. ஆகும்.

ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியினூல் எடுத்துச் செல்லப்படக் கூடிய திறனின் உச்ச அளவு அக் கம்பிகளுக்கிடையேயுள்ள மின் கடத்தாப் பொருள்களினுல் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றது. காற்றுக் கடத்தாப் பொருளாக இருக்கும்பொழுது இந்த மின்னழுத்தத்தின் உச்ச மதிப்பு 30,000 வோல்ட்/செ. மீ. ஆகும். இந்த மின்னழுத்தம் உயரம் அதிகரிக்க, அதிகரிக்கக் குறைகின்றது.

ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் உள்ளிடு பகுதியில் கொடுக்கப் பட்டுள்ள மின் அழுத்தத்திற்கும், ஏற்படும் மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள தகவு மின்னெதிர்ப்பு எனப்படும். மின்னெதிர்ப்பு

$$Z_s = Z_0 \left( \frac{Z\gamma + Z_0 \tan h\gamma l}{Z_0 + Z_r \tan h\gamma l} \right) \quad \dots \quad \dots \quad (16)$$

குறைந்த அடுக்கமுள்ள ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளில் இந்தச் சமன்பாடு, கம்பியின் நீளத்தையும், பரப்புதல் மாறிலியையும், சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பையும், தடை மின் எதிர்ப்பையும் பொறுத்திருக்கும். மைக்ரோ அடுக்கங்களில் இயங்கும் கம்பிகளில் கம்பிகளின் நீளமும், பரப்புதல் மாறிலியும் முக்கியமாகக் கருத்தில் கொள்ளப்பட வேண்டியவை; மற்ற இரண்டும் முக்கியமல்ல. இது அலைவழிப்படுத்திக்கும் (wave guide) பொருந்தும்.

மின்காந்த அலை (*TEM*) கம்பியில் செல்லும்பொழுது ஏற்படும் சிறப்பியல்பு அலை மின்னெதிர்ப்பை (characteristic wave impedence) மின்புலத்திற்கும், காந்தப் புலத்திற்கும் ஆற்றல் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் உள்ள தகவு என்றும் கூறலாம். இரண்டிற்கு மேற்பட்ட கடத்திகளையுடைய கம்பியில் முக்கிய வகைப் பரப்பியல் சிறப்பியல்பு, அலை மின்னெதிர்ப்பு

$$Z_w = 377 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \text{ ஓம்கள் ஆகும்.} \quad \dots \quad \dots \quad (18)$$

இங்கு $\mu$ உட்புகுத் திறனுகும்.

$\epsilon$ மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலியாகும்.

காற்றில் இவற்றின் மதிப்பு ஒன்றுகும்.

அலை வழிகாட்டிகளில் அல்லது ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளில் *TE* அல்லது *TM* அலைகள் செல்லும்பொழுது சிறப்பியல்பு அலை மின்னெதிர்ப்பு கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளால் பெறப்படுகின்றது.

$TE$ அலைகளுக்கு,

$$Z_w = 377 \left(\frac{\lambda g}{\lambda}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$TM$ அலைகளுக்கு,

$$Z_w = 377 \left(\frac{\lambda}{\lambda g}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பு

$$Z_0 = \frac{V}{I} = \frac{V^2}{W} = \frac{W}{I^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (21)$$

ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகள் மைக்ரோ அலைகள் சாதனங்களில் மின் சுற்றுகளின் வேலைகளைச் செய்வதற்குப் பயன்படுகின்றன. இவை சில சமயங்களில் தொடர் ஒத்ததிர்வுச் சுற்றுகளாகவும் சில சமயங்களில் இணை ஒத்ததிர்வுச் சுற்றுகளாகவும் செயற்படுகின்றன. ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் நீளத்தை $l$ எனக் கொண்டால்

இணைமாற்று மின் நிலைமம் (Equivalent inductance)

$$L' = \frac{8lZ_0}{\pi^2 C} \text{ ஹென்றிகள்} \quad \ldots \quad \ldots \quad (22)$$

இணைமாற்று மின்தேக்கித் திறன் (Equivalent capacitance)

$$C' = \frac{l}{2CZ_0} \text{ ஃபாரட்டுகள்} \quad \ldots \quad \ldots \quad (23)$$

இணை மின்னெதிர்ப்பு (shunt impedance)

$$R_s H = \frac{Z_0}{\alpha l} \text{ ஓம்கள்} \quad \ldots \quad \ldots \quad (24)$$

$$Q = \frac{\pi}{4\alpha l} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (25)$$

$$\sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{4}{\pi}\sqrt{\frac{L}{C}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (26)$$

இங்கு $C$ என்பது ஒளியின் திசை வேகமாகும். $\alpha$ என்பது மெலிப்பான் மாறிலியாகும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Hand Book of Electronics — *By Gupta & Kumar*
2. Radio Engineering of Electronics — *By Terman*
3 Principles and Practice of Radar — *By R. S. H. Boulding*

# 21. ஓரச்சுக் கம்பிகளும் அலை வழிகாட்டிகளும்

**(Coaxial lines and Wave Guides)**

இரண்டு ஓரச்சு உருளைகளுக்கிடையே ஒரு மின் கடத்தாப் பொருள் வைக்கப்பட்டு அதன் வழியே மின் காந்த அலைகள் செலுத்தப்படுமானால் அந்த அமைப்புக்கு ஓரச்சுக் கம்பிகள் என்பது பெயர். மைக்ரோ அடுக்கங்களில் புறப் பரப்பு ஆழம் (skin depth) மிகவும் சிறியது. எனவே, கடத்துகின்ற தூரம் எல்லையற்ற கனமுடையது என்று கொள்ளலாம். இந்தக் கம்பிகள் வழியே TEM அலைகள் எடுத்துச் செல்லப்படுகின்றன.

இந்தப் பகுதியில் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அடையாளங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

$\lambda$ — அலைநீளம்

$f$ — அடுக்கம்

$w$ — கோணத் திசை வேகம் $= 2\pi f$

$v$ — பரப்பல் திசை வேகம்

$c$ — ஒளியின் திசை வேகம் $= 3 \times 10^{10}$ செ.மீ./வினாடி

$a$ — உட்கடத்தியின் வெளி ஆரம்

$b$ — வெளிக் கடத்தியின் உள் ஆரம்

$\epsilon$ — மின் கடத்தாப் பொருளியல் மாறிலி = காற்றில் ஒன்று

$\epsilon_1$ — ஊடகத்தின் மின் கடத்தாப் பொருளியல் மாறிலி

$\mu$ — உட்புகு திறன் = காற்றில் ஒன்று

$\mu_1$ — இரண்டு கடத்திகளைப் பிரிக்கும் ஊடகத்தின் உட்புகு திறன்

$R$ — ஒரு சென்டிமீட்டரின் மின் தடை

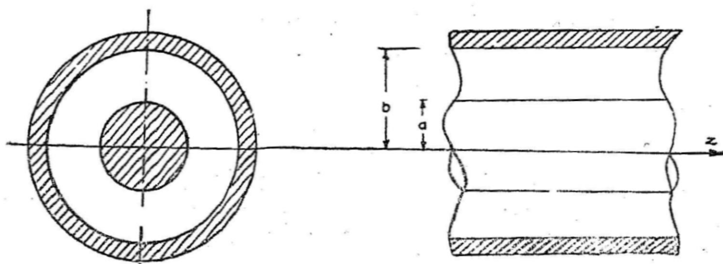
$L$ — ஒரு சென்டிமீட்டரின் மின் நிலைமம்

$G$ — ஒரு சென்டிமீட்டரின் மின் கடத்துத் திறன்

$C$ — ஒரு சென்டிமீட்டரின் மின் தேக்கித் திறன்

$Z_0$ — சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு

ஓர் ஓரச்சுக் கம்பியின் படம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 21·1

ஓரச்சுக் கம்பியின் குறுக்குத் தோற்றம்

ஓரச்சுக் கம்பியின் ஒரு செ.மீ. நீளத்திற்குரிய மின் நிலைமம்

$$L = 0{\cdot}4605\ \mu_1 \left(\log_{10} \frac{b}{a}\right) \times 10^{-8} \text{ ஹென்றி/செ.மீ} \quad \ldots (1)$$

கடத்திகளுக்கிடையேயுள்ள ஒரு செ.மீ. நீளத்திற்கு மின்தேக்குத் திறன்

$$C = \frac{0{\cdot}241\ \epsilon_1}{\log_{10} \dfrac{b}{a}} \times 10^{-12} \text{ ஃபாரட்/செ.மீ.} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

ஒரு செ.மீ. நீளத்திற்கு மின்தடை,

$$R = \frac{\rho}{2\pi\delta}\left[\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right] = \sqrt{\frac{f\mu\rho}{10^{a}}}\left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right) \ldots (3)$$

இங்கு, $\delta$ — புறப்பரப்பு ஆழம்

$f$ — அடுக்கம்

$\rho$ — மின்தடை எண் ஓம்/செ.மீ.

கம்பியின் ஆரங்கள் செ.மீ. களில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

தாமிரக் கடத்திகளுக்கு,

$$R = 4{\cdot}14 \times 10^{-8} \sqrt{f} \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{a}\right) \text{ ஓம்/செ.மீ.} \quad \ldots (4)$$

ஆற்றல் விரயமாகாதபொழுது, சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = 138 \sqrt{\frac{\mu_1}{\epsilon_1}} \log_{10} \frac{b}{a} \quad \ldots \quad (5)$$

ஆற்றல் விரயம் நிகழும்பொழுது சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பை,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + jwL}{G + jwC}}$$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம். ... (6)

பரப்பல் மாறிலி $\gamma$ ஐ, எளிய சமன்பாடு

$$\gamma = \sqrt{(R + jwL)(G + jwC)} = \alpha + j\beta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

என்ற சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறலாம். இங்கு $\alpha$ என்பது மெலிப்பான் மாறிலியும், $\beta$ என்பது கட்டபேத மாறிலியுமாகும் (phase constant).

கட்ட பேதமும், அமைப்பிலுள்ள அலையின் நீளமும் $\lambda_1 = \frac{2\pi}{\beta}$ என்ற சமன்பாட்டினுல் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

கம்பிகளில் அலைகளின் திசைவேகம் $v = \frac{\omega}{\beta}$ என்பதால் உணர்த்தப்படுகின்றது. ஆற்றல் விரயமில்லாதபொழுது இதே திசை வேகம் $v = \frac{c}{\sqrt{\mu_1 \epsilon_1}}$ என்பதால் உணர்த்தப்படுகின்றது. கம்பியில் உள்ள அலை நீளம் $\lambda_1$, வானவெளியில் உள்ள அலை நீளம் $\lambda$ உடன் $\lambda_1 = \frac{\lambda}{\sqrt{\mu_1 \epsilon_1}}$ என்ற சமன்பாட்டினுல் பொருந்துகின்றது.

மைக்ரோ அலை அடுக்கங்களில் பயன்படுகின்ற எல்லா ஓரச்சுக் கம்பிகளிலும். ஓர் அலைநீளத்திற்கு ஆற்றல் மெலிவு மிகவும் குறைவாகும். எனவே மெலிப்பான் மாறிலியை,

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{G}{2y_0}$$ நேப்பியர் / செ. மீ. என்று தோராயமாகக் குறிப்பிடலாம்.

ஓரச்சுக் கம்பியில் உச்ச மின்னழுத்த வாட்டம் ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைவிட அதிகரிக்கும்பொழுது, கம்பியில் முறிநிலை ஏற்படும். சாதாரண வளிநிலையில் காற்று மின்கடத்தாப் பொருளாக இருக்கும்பொழுது இது ஒரு செ.மீ.-க்கு 30,000 வோல்ட்டுகளாகும்.

எந்த ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியும் அதன் வழியே அலைகளைப் படுத்திச் செல்லுகின்றது. எனவே அதை அலைவழிப்படுத்தி என்று கூறலாம். பொதுவாக ஓர் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியில் எண்ணற்ற வகையில் ஆற்றல் பரவும் என்று கண்டோம். மேலும் அவைகளை 3 முக்கியப் பகுதிகளாக. அதாவது (1) குறுக்கு மின் காந்த அலைகள் (*T. E. M.*) (2) குறுக்கு மின் அலைகள் (*T. E*), (3) குறுக்குக் காந்த அலைகள் (*T. M.*) எனப் பிரிக்கலாம் என்று கண்டோம். இரண்டே கடத்திகள் இருக்கும்பொழுது குறுக்கு மின்காந்த அலைகளும், இரண்டிற்கு மேற்பட்ட கடத்திகள் இருக்கும்பொழுது எண்ணிலடங்கா குறுக்கு மின் அலைகளும், குறுக்குக் காந்த அலைகளும் பரவுகின்றன. அலைவழிப்படுத்தி என்பது குறுக்கு மின்காந்த அலைகள் பரவாத ஒரு கம்பியாகும். அதாவது ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியில் இரு வெவ்வேறு கடத்திகள் இருக்கமாட்டா. இதில் பொதுவாக மின் கடத்தாப் பொருளினுலான உருளையின் மேல் கடத்தக்கூடிய ஒரு பொருள் அமைந்திருக்கும். அலைவழிப் படுத்திகளில் செவ்வக வடிவ அலைவழிப் படுத்தி, வட்ட வளைய வடிவ அலைவழிப் படுத்தி, நீள் வட்ட வடிவ அலைவழிப்படுத்தி எனப் பலவகைகளுண்டு. இவைகளில் ஆற்றல் மெலிவும் ஏற்படுதல் உண்டு. மின் கடத்தும் பொருள்களாலும், மின் கடத்தாப் பொருள்கள் சரியாக அமைக்கப்படாததாலும், ஆற்றல் விரையம் அடிக்கடி ஏற்படுவதுண்டு.

நாம் மேலே கூறியதுபோல் அலைவழிப்படுத்திகள் ரேடியோ அடுக்கத் திறனை ஓரிடத்திலிருந்து மற்ருேரிடத்திற்கு எடுத்துச் செல்லப் பயன்படுகின்றன. ராடாரில் அவை ரேடியோ அடுக்கத் திறனை துடிப்புகள் பரப்பப்படும்பொழுது பரப்பியிலிருந்து ஆன்டென்னுவிற்கும், எதிரொளித் துடிப்புகளைப் பெறும்பொழுது ஆன்டென்னுவிலிருந்து ஏற்பிக்கும் எடுத்துச் செல்கின்றன. அலைவழிப் படுத்திகள் மைக்ரோ அடுக்கங்களில் இயங்க மிகவும் உகந்தவை. ரேடியோ அடுக்கத்திறனை நீண்ட அலை நீளங்களில் கொடுப்பதற்கு அலை வழிப்படுத்திகளும் நீண்டதாக இருக்க வேண்டும். ஆனுல் அவற்றை உபயோகிப்பது கடினம்.

**அலை வழிப்படுத்தியின் நன்மைகள்**

(1) அவை அமைப்பில் எளியவை. ஓரச்சுக் கம்பிகளைப்போல் அவற்றின் உள்ளே கடத்திகள் கிடையாது. (2) மின்புலங்களும், காந்தப் புலங்களும் அலை வழிப்படுத்தியின் உள்ளிடத்திலேயே தொழிற் படுவதால் கதிர் வீசலினால் மிக மிகக் குறைந்த அளவே ஆற்றல் விரயமாகிறது. (3) அலை வழிப்படுத்திகள், பொதுவாகக் காற்றினால் நிரப்பப்பட்டுள்ளன. ஆகையால் மின் கடத்தாப் பொருளினால் ஏற்படுகின்ற ஆற்றல் விரயம் மிக மிகக் குறைவாகும். (4) மேலே (2). (3) ஆகிய பகுதிகளில் சொல்லப்பட்டவைகளி லிருந்து அலைவழிப்படுத்தியிலிருந்து ஆற்றல் மெலிவு மிக மிகக் குறைவு என்பது புலனாகின்றது. மேலும் படித்தரப் பருமன் அலை வழிப்படுத்தியின் (standard size wave guide) சுவர்களில் வெப்பத் தினால் ஏற்படும் ஆற்றல் விரயம் மிகவும் குறைவு என்பது தெரி கின்றது. (5) அலை வழிப்படுத்திகளின் உச்சத்திறன் ஓரச்சுக் கம்பியின் உச்சத்திறனை விட அதிகம் $1'' \times \frac{1}{2}''$ அலை வழிப்படுத் தியின் உச்சத்திறன் ஒரு மெகா வாட்டாகும்.

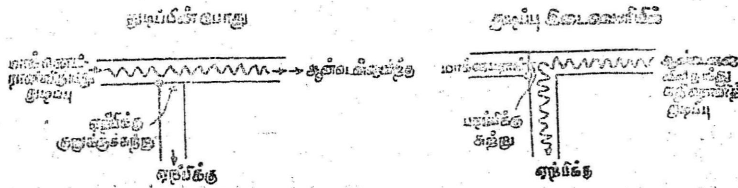
## படித்தற்குரிய நூல்கள்

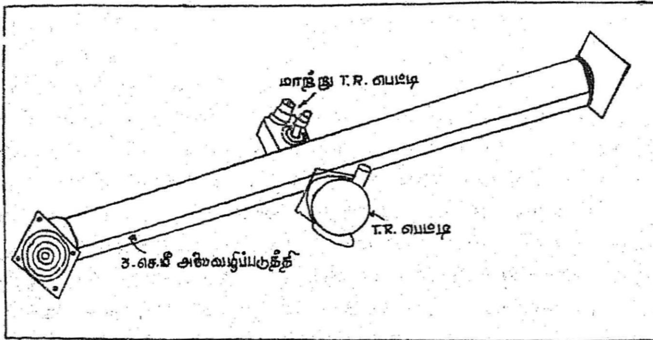

1. Radar Premier — *By J. L. Hornung*
2. Principles and Practice of Radar — *By R. S. H. Boulding*
3. Radio Engineering of Electronics — *By Terman*

# 22. பரப்பி — ஏற்பி சுவிட்சுகள்

**(T. R. Switches)**

ராடாரில் பரப்பி - ஏற்பி சுவிட்சு மிக முக்கியமான ஒன்றாகும். 10 சென்டி மீட்டர் அலை நீளத்தில் தொழிற்படுவதும், அலைகளைக் கொண்டு செல்வதற்கு அலை வழிப் படுத்திகளைப் (wave guides) பயன்படுத்துவதுமான ஒரு பரப்பி ஏற்பியின் சுவிட்சு படம்




படம் 22·1.

பரப்பி — ஏற்பி சுவிட்சு.

22·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் அலை வழிப்படுத்தியின் ஒரு பகுதியுடன் கூட, இரண்டு வாயு நிரப்பப்பட்ட மின் குழாய்

களும் உள்ளன. மாக்னெட்ரானிலிருந்து வருகின்ற துடிப்புகளின் ஆற்றல் குழாய்களிலுள்ள வாயுவை அயனியாக்கம் அடையச் செய்கின்றது. அதாவது வாயுவின் அணுக்களிலிருந்து எலெக்ட்ரான்கள் பிரிக்கப்படுகின்றன. ஏனெனில் வாயுவிலுள்ள சில புறப் பணி எலெக்ட்ரான்கள் (free-electrons) மின்னழுத்த பேதத்தினால் அதி வேகத்தில் சென்று இந்த விளைவைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதற்குத் தேவையான மின்னழுத்த பேதம் மாக்னெட்ரானினால் உண்டாக்கப்படுகின்றது. இந்தப் புறப்பணி எலெக்ட்ரான்கள் அணுக்களுடன் வேகமாக மோதி அவற்றிலிருந்து எலெக்ட்ரான்களை விடுவிக்கின்றன. இப்படி விடுவிக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் மற்ற அணுக்களுடன் மோதி மேலும் எலெக்ட்ரான்களை விடுவிக்கின்றன. இவ்வாறு ஒரு மைக்ரோ விநாடியின் ஒரு பகுதியில் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குவதற்கு எண்ணிறந்த எலெக்ட்ரான்கள் கிடைக்கின்றன. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மோதுதலினால் அணுக்கள் உந்தப்பட்டு வாயு ஒளியை விடுகின்றது. இங்கு விடப்படும் ஒளி முக்கியமல்ல. ஆனால் வாயுவின் மூலக் கூறுகளிலும், அணுக்களிலும் நடைபெறுகின்ற இந்த நிகழ்ச்சிதான் விளம்பரங்களில் அதிகமாகப் பயன்படும் நியான் விளக்குகளை ஒளிரச் செய்கின்றது.

மாக்னெட்ரானின் துடிப்பு முடிவுறும் பொழுது, எலெக்ட்ரான்களின் வேகம் மிக மிகக் குறைந்து மிகக் குறுகிய காலத்தில் அவை அணுக்களால் திரும்பவும் கவரப்படுகின்றன. வாயுவில் புறப்பணி எலெக்ட்ரான்கள் இல்லையேல் இந்தக் குழாய்கள் வழியாக மின்னோட்டம் செல்ல முடியாது. இந்தக் குழாய்கள் ஒரு சுவிட்சைப் போல் செயல்படுகின்றன என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. ஒரு சாதாரண சுவிட்சைப் போடும் பொழுது மின்னோட்டம் செல்வதையும், அதை நிறுத்தும் பொழுது மின்னோட்டம் நின்று விடுவதையும் நாமறிவோம். அதைப் போலவே மாக்னெட்ரான் ஒரு துடிப்பை உண்டாக்கும் பொழுது வாயு நிரப்பப்பட்ட குழாய்கள் தாங்களாகவே தொழிற்படுகின்றன. ஒரு மைக்ரோ விநாடிக்கும் குறைவான நேரத்தில் இயங்க ஆரம்பித்து, மாக்னெட்ரான் துடிப்பு இருக்கும் பொழுது இயங்கி, பிறகு விரைவாக இவை நின்று விட வேண்டும். இப்படி ஒரு விநாடியில் பல நூறு தடவை நிகழ வேண்டும். ஓர் இயந்திர சுவிட்சு (mechanical switch) இவ்வளவு அதிக வேகத்தில் இயங்க முடியாது.

வாயு நிரப்பப்பட்ட குழாய்கள் அலைவழிப்படுத்தியில் அவற்றைத் திறக்குமாறும், தேவைப்பட்டால் மூடிவிடக் கூடிய நிலையிலும் இயங்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. பரப்பியில் துடிப்பு

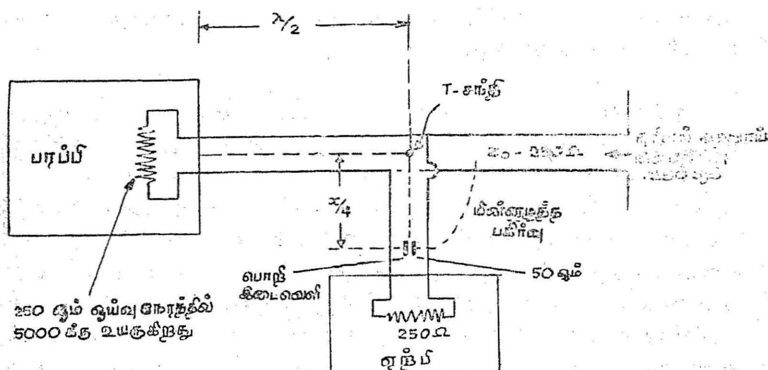
ஏற்படும் பொழுது, மாக்னெட்ரானுக்கும் ஏரியலுக்கும் உள்ள வழியைத் திறந்து விடுகின்றன; ஆனால் ஏற்பிக்கு உள்ள வழியை அடைத்து விடுகின்றன. இதனால் ஏற்பியிலுள்ள நுண்ணிய பாகங்கள் சேதமடையாமல் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. பரப்பியில் துடிப்பு முடிவுற்ற பிறகு ஏரியலுக்கும், ஏற்பிக்குமுள்ள வழி திறக்கப் பட்டு மாக்னெட்ரானுக்கு உள்ள வழி மூடப்படுகின்றது. இவ்வாறு இலக்கிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் சைகையானது ஏற்பியின் ஏரியலை அடைகின்றது.

ஓர் ஏரியலை சைகைகளைப் பரப்புவதற்கும், அவற்றைத் திருப்பிப் பெறுவதற்கும் பயன்படுத்தும் பொழுது, ஆற்றலை விரயமாக்காமல் பெறுகின்ற முறைகளைப் பற்றி நாம் கவனிக்க வேண்டும். இதற்கு முக்கியமாக ஏற்பியின் உள்ளிடு சுற்றுகளைச் சேதமடையாமல் பாதுகாக்க வேண்டும். அதிலும் மிகக் குறுகிய அலைகளைப் பயன்படுத்தும் பொழுது இதனை நாம் மிகவும் கவனத்தில் வைக்க வேண்டும். மேலும் ராடார் நன்கு தொழிற்பட ஏற்பிச் சுற்றில் பரப்பியின் ஆற்றல் விரயமாவதையும், பரப்பியின் சுற்றில் ஏற்பியின் ஆற்றல் விரயமாவதையும் அறவே தடுக்க வேண்டும். பரப்பி, ஏற்பி சுவிட்சுகளின் தத்துவத்தை ஓரச்சு திறந்த ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளைப் போலவே அலைவழிப் பகுதிகளிலும் உபயோகிக்கலாம். பிந்தையதில் $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{\lambda}{2}$ பகுதிகள், முந்தையதில் $\frac{\lambda}{4}$ பகுதிகளுக்குப் பதிலாகச் செயற்படுகின்றன.

படம் 22·2 ஓர் எளிய *T. R.* சுவிட்சின் தத்துவத்தை விளக்கப் பயன்படுகின்றது. சுவிட்சுடனுள்ள $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{\lambda}{4}$ கம்பிகளுடன் பொறி இடை வெளியும் (spark gap) இதில் பங்கு பெறுகின்றது. பொறி இடைவெளியே ஒரு நல்ல சுவிட்சாகப் பயன்படுகின்றது. ஏனெனில் அந்த இடை வெளியில் மின்னழுத்தம் மிக அதிகமான அளவிற்கு உயருகின்ற வரை அது ஒரு திறந்த சுற்றிலேயே இருக்கின்றது.

மின்வாய்களுக்கு இடையேயுள்ள வாயு அயனியாக்கம் அடைவதால் வில் (arc) உண்டாகின்றது. அயனியாக்கம் ஆரம்பித்தவுடன் அது மிகக் குறைந்த மின்னழுத்தத்திலேயே நீடிக்கும். அப்பொழுது இடைவெளியின் மின் தடை ஒரு குறுக்குச் சுற்றை ஒத்திருக்கும். வளி மண்டல அழுத்தத்தில் காற்று வில்லை (arc) ஆரம்பிப்பதற்கு ஓர் அங்குலத்திற்கு 30,000 வோல்ட்டுகளை

எடுத்துக் கொள்கிறது. இடைவெளியில் வில் தொடங்கிவிட்டால் பிறகு அது 50 வோல்ட்டுகளிலே தொடர்ந்து இருக்கும். வில்லைத் தொடங்குவதற்குரிய மின்னழுத்தமும், பிறகு அதைக் காப்பதற்குரிய மின்னழுத்தமும் வாயுவின் அழுத்தத்தையும், உபயோகப் படுத்தப்படும் வாயுவின் தன்மையையும் பொறுத்து அமைகின்றன.




படம் 22·2.

பரப்பி — ஏற்பி சுவிட்சின் விளக்கம்.

ஓர் எளிய சுற்றில், ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியின் சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு (characteristic impedance), ஏரியலின் ஊட்டுப்புள்ளி மின்தடை (feed - point resistance of the aerial), ஏற்பியின் உள்ளீடு மின்தடை, பரப்பியின் வெளிப்பகுதி மின்தடை ஆகியவை 250 ஓம்கள் எனக் கொள்வோம். மேலும் பரப்பியின் வெளிப்பகுதி மின்தடை ஓய்வு நேரத்தில் (resting time) 5,000 ஓம்களுக்கு உயருவதாகவும் கொள்வோம். மின்சாரத்தைக் கடத்துகின்ற பொறி இடைவெளியின் மின்தடை ஏறக்குறைய 50 ஓம்கள் என்றும் கொள்வோம்.

1. பரப்பியின் துடிப்பு $T$ சந்திப்பில் (T junction) பிரிந்து ஒரு பகுதி ஏரியலுக்கும், மற்றொரு பகுதி பொறி இடைவெளிக்கும் செல்லுகின்றது. பொறி இடைவெளி உடைக்கப்படுகின்றது.

2. இதன் விளைவாகப் பொறி இடைவெளியின் 50 ஓம் $T$ சந்திப்பிற்கு எதிரேயுள்ள $\frac{\lambda}{4}$ கம்பியின் 250 ஓமுக்குக் குறுக்காக வைக்கப்படுகின்றது.

3. $T$ சந்தியில் புலப்படுகின்ற மாதிரி $\frac{\lambda}{4}$ கம்பி (இயல்பாக 50 ஓம்களையுடையது) உள்ளிடு பகுதி மின்னெதிர்ப்பு

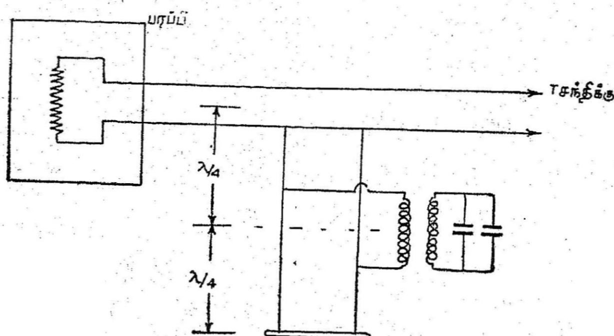
$$Z = \frac{250^2}{50} = 1250$$

ஓம்களைப் பெறுகின்றது.

4. பரப்பப்படும் ஆற்றலில் பெரும் பகுதி ஏரியலுக்குச் செல்கின்றது. ஏனெனில் அது கம்பியை 250 ஓம்கள் மின்னெதிர்ப்பில் இணைக்கின்றது. வேறு பாதையில் மின்னெதிர்ப்பு 1250 ஓம்களாக உள்ளது.

5. சுருக்கமாகக் கூறின் தேவையான அளவு ஆற்றல் பொறி இடைவெளிக்குச் சென்று அதை இயக்க வைக்கின்றது. மீதமுள்ள ஆற்றல் ஏரியலுக்குக் செல்லுகின்றது.

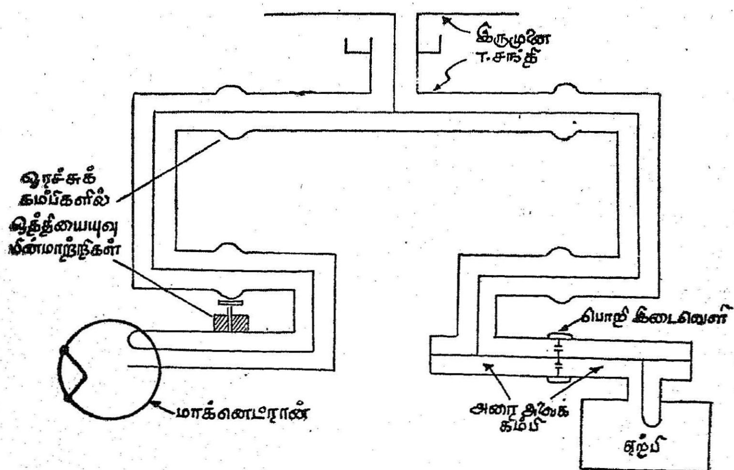
பரப்பியின் துடிப்பு முடிவுற்றதும் இடைவெளி அயனி நீக்கமடைகின்றது. இலக்கிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் சைகைகள் $T$ சந்தியை அடைந்து குறுகிய மின்னெதிர்ப்புள்ள கம்பியின் வழியாக ஏற்பியை அடைகின்றன. இவற்றின் பாதை $Z_0$ என்ற மின்னெதிர்ப்பில் முடிவுறுகின்றது. இப்பொழுது $T$ சந்தியிலிருந்து பரப்பிக்கு (இது $\frac{\lambda}{2}$ பிரிவு) ஓய்வு நேரத்தின்பொழுது 5,000 ஓம்களைப் பெற்றிருப்பதால் சைகைகள் செல்லமுடியாமல் ஏற்பியை அடைகின்றன. சில நேரங்களில் ஒரு பரப்பி, ஏற்பி சுவிட்சுடன் கூட ஒரு பரப்பித் தடுப்பு சுவிட்சும் (T. B switch) பயன்படுத்தப் படுகின்றது. இதன் அமைப்பு படம் 22·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 22·3.

பரப்பித் தடுப்பு சுவிட்சுகள் (இனி இதை T. B. சுவிட்சுகள் என்று அழைப்போம்), பரப்பி ஏற்பு சுவிட்சுகள் (இனி இதை T. R. சுவிட்சுகள் என்றழைப்போம்) ஆகிய இரண்டும் இயங்க ஆற்றல் தேவைப்படுகின்றது. எனவே அவற்றின் பயனுறு திறன் குறைகின்றது. இதைத் தடுப்பதற்காக மின் மாற்றிகளைப் பயன் படுத்துகின்றனர்.

ரேடியோ அடுக்க மின் மாற்றிகள், ராடார் ஊர்தி அடுக்கங்களில் செயற்படத் தகுந்தவையல்ல. ஆகவே ஒத்தியைவுக் கம்பிகள் (resonant lines) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு T. R. சுவிட்சின் செயலுறும் தன்மை, பொறி இடைவெளியின் மின் தடையைப் பொறுத்தது. இது ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளின் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்பை ஒத்திருக்கும் எனவே எல்லா ஓரச்சுக் கம்பிகளிலும் ஒத்தியைவு மின் மாற்றிகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. படம் 22·4 இத்தகைய ஓர் அமைப்பைக் காட்டுகின்றது.




படம் 22·4.

ஓரச்சுக் கம்பிகளில் ஒத்தியைவு மின்மாற்றிகள்

இதில்,

1. மாக்னெட்ரான், பரப்புதலின்பொழுது கம்பியுடன் ஓர் இசைவுப் பொருத்தியால் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

2. $T$ சந்தியில், மாக்னெட்ரான் இயங்காதபொழுது, பரப்பியின், நீளம் சந்தி மின்னெதிர்ப்பு மிக அதிகமாக இருக்குமாறு அமைந்துள்ளது. மாக்னெட்ரானின் உள்ளீடு அளவு மின்னெதிர்ப்பு, ஓய்வு நேரத்தில் மிக அதிகமாகவும், இயங்கும்பொழுது மிகக் குறைவாகவும் இருக்கின்றது.

3. எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகள் ஏற்பியை நோக்கி மின்னெதிர்ப்பு குறைந்த வழியே செல்லுகின்றன.

4. மின் மாற்றி 1 : 1 என்ற வகையைச் சார்ந்தது. அதாவது $\frac{\lambda}{2}$ கம்பி வகையைச் சேர்ந்தது.

5. இந்த $\frac{\lambda}{2}$ கம்பிக்கு ஓர் இசைவுச் சுற்றுக்குரிய எல்லாக் குணங்களும் உண்டு. முனைகளில் அதன் உள்ளீடு அளவு மின்னெதிர்ப்பு சுழியாகவும் மத்தியில் உச்சமாகவும் இருக்கும்.

6. இந்த மின்னெதிர்ப்பின் அளவு $\frac{\lambda}{2}$ கம்பியில் $Q$ ஐயும் ஏற்பியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின் தடையையும் பொறுத்திருக்கும்.

7. $\frac{\lambda}{2}$-கம்பிகளின் இரு பக்கத்திலுமுள்ள ஓரச்சுக் கம்பிகள், அவற்றின் சிறப்பியல்பு மின்னெதிர்ப்புகள் பொருந்துமாறு அமைந்துள்ளன.

8. ஏற்பியின் உள்ளீடு அளவுச் சுற்று ஊட்டுக் கம்பியுடன் சரியான மின்னெதிர்ப்பு $Z_0$ வரும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

*T. R.* சுவிட்சுகளில் உள்ள பொறி இடைவெளிகள் பலவிதங்களில் மாறுபடுகின்றன. சுவிட்சு திறப்பட இயங்க வில் ஏற்படும் வரை பொறி இடைவெளியின் மின்தடை அதிகமாகவும், வில் ஏற்பட்டவுடன் மின்தடை குறைவாகவும் இருக்க வேண்டும். மேலும் துடிப்பு முடிவுற்றவுடன் வில்லும் மறைந்து விடவேண்டும். காற்றில் பொறி இடைவெளியின் மின்தடை, வில் இயங்கும்பொழுது 30 - விருந்து 50 ஓம்கள் வரையிலும் இருக்கும். மேலும் அயனி நீக்க நேரம் 10 மைக்ரோ வினாடிகளாகும்.

மைக்ரோ அலை அடுக்கங்களில் ஒரு படிகம் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. இது முக்கியமாக அடுக்கங்களைக் கலப்பதற்குப்

பயன்படுகின்றது. அலை வழிப்படுத்திகளில் நீண்ட அலை நீளங்களுள்ள சுற்றுப் பண்புகளே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இங்குப் பொறி இடைவெளியிலுள்ள அயனிகள் பரப்பியின் துடிப்பு நின்றவுடனே நீக்கப்படவேண்டும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Radar Astronomy — *By Smith and Evans*
2. Introduction to Radar system — *By Merrill I. Skolnik*
3. Principle and practice of Radar — *By R. S. H. Boulding*

# 23. எதிர் மின்கதிர்க் குழாய்

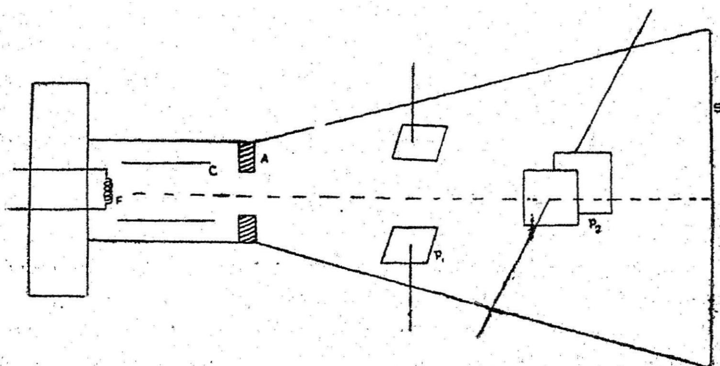
## (Cathode Ray Oscillograph)

எல்லாத் தனிமங்களிலும் அடிப்படைத் துகள்களில் ஒன்றுள எலெக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்று முன்னர் பார்த்தோம். இந்த எலெக்ட்ரான்கள் நிறையில் மிக மிகக் குறைந்தவை. எனவே இவற்றை அதிவேகமாகச் செலுத்த முடியும். இவை ஏறக்குறைய ஒளியின் வேகத்தில் $\frac{1}{10}$ பங்கு வேகத்துடன் செல்லுகின்றன என்றும் கூறினோம். இந்த எலெக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்னூட்டம் உடையவை. எனவே மின் புலம் (electric field), காந்தப் புலம் (magnetic field) ஆகியவைகளால் விலக்கப்படுகின்றன. இந்தத் தத்துவங்கள் எதிர் மின்கதிர்க் குழாயில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

முதல் எதிர் மின்கதிர்க் குழாய் 1897-ல் ப்ரான் (Brawn) என்ற விஞ்ஞானியால் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இது ப்ரான் குழாய் (Brawn tube) என்று அழைக்கப்பட்டது. அமைப்பில், J J தாம்ஸன் என்ற விஞ்ஞானியால் எலெக்ட்ரான்களின் $e/m$ தகவைக் கண்டு பிடிப்பதற்கு அமைக்கப்பட்ட மின்னிறக்கக் குழாயை இது ஒத்திருந்தது. எதிர் மின்வாயால் வெளிவிடப்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் ஒரு குறுகிய கற்றையாகக் குவிக்கப்பட்டு அதி வேகத்தில் சென்று குழாயின் அடுத்த முனையிலுள்ள ஓர் ஒளிர்விடும் திரையில் (fluorescent screen) மோதுகின்றன. மின் குழாய்க்குள் இரு உலோகத் தகடுகளைச் சரியான முறையில் அமைத்து, அவற்றிற்கு அதிக மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்து, எலெக்ட்ரான்களின் பாதைக்குச் செங்குத்தான திசையில் ஒரு மின் புலத்தை உருவாக்க முடிந்தது. இந்த மின்புலம் எலெக்ட்ரான்களை அவற்றின் இயல்பான பாதையினின்றும் விலக்கும். இந்த விலக்கத்தைத் திரையில் காணலாம். மின்புலம் அலைவுத் தன்மை (oscillatory) உடையதாக இருந்தால் இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மேலும் கீழுமாக

அலைவுறும். அவ்வாறு அலைவுறும்பொழுது அவை ஒரு நேர்க் கோட்டை வருவிக்கும். இந்தக் குழாய் நல்ல முறையில் வேலை செய்வதற்கு மிக அதிக மின்னழுத்தம் தேவைப்பட்டதால் நாளடையில் இது கைவிடப்பட்டது.

நவீன எதிர் மின்கதிர்க் குழாயின் படம் 23·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் கார மண் உலோகம் (alkaline earth) பூசப்பட்ட ஒரு டங்ஸ்டன் ஃபிலமென்ட் சூடாக்கப்பட்டு எலெக்ட்ரான்களை வெளிவிடுகிறது. ஃபிலமென்ட் எதிர் மின்வாயாகவும் செயல்படுகிறது. ஃபிலமென்டுக்கு அருகே நடுவில் துவாரமுடைய ஒரு வட்ட அமைப்பில் தகடு ஒன்று நேர் மின்வாயாகச் செயற்படுகின்றது. இந்த நேர் மின்வாய்க்கு 500 வோல்ட்டுகள் முதல் 2000 வோல்ட்டுகள் வரை மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகின்றது. படத்தில் $F$ என்பது ஃபிலமென்டையும், $A$ என்பது நேர் மின்வாயையும் குறிக்கின்றன. நேர் மின்வாயை ஒட்டிச் செல்லுகின்ற குறுகிய எலெக்ட்ரான் கற்றை அதி வேகத்தில் சென்று $S$ என்ற திரையில் மோதி அதில் ஒளி மிகுந்த புள்ளியை உண்டாக்குகிறது. எலெக்ட்ரான்களின் பாதையில் $P_1$, $P_2$ என்ற இரு இரட்டைத் தகடுகளையோ (two pairs of plates) அல்லது இரு மின்காந்தச் சுருள்களையோ வைத்து அவற்றில் புலன்களை உண்டாக்கி எலெக்ட்ரான்களை அவற்றின் இயல்பான பாதையினின்றும் விலக்கலாம். எதிர் மின்கதிர்க் குழாய் ஓர் அதி உணர்வுடைய கருவி (very sensitive arrangement) ஆகும். அதை உபயோகித்து மிக மிகக் குறைந்த கால அளவில் நிகழ்கின்ற நிகழ்ச்சியைக் கூட அளக்கலாம். எலெக்ட்ரான் கற்றை நிகழ்ச்சியை எந்தவித மாற்றமும் இன்றி அப்படியே படம் பிடித்துக் காட்டுகிறது.

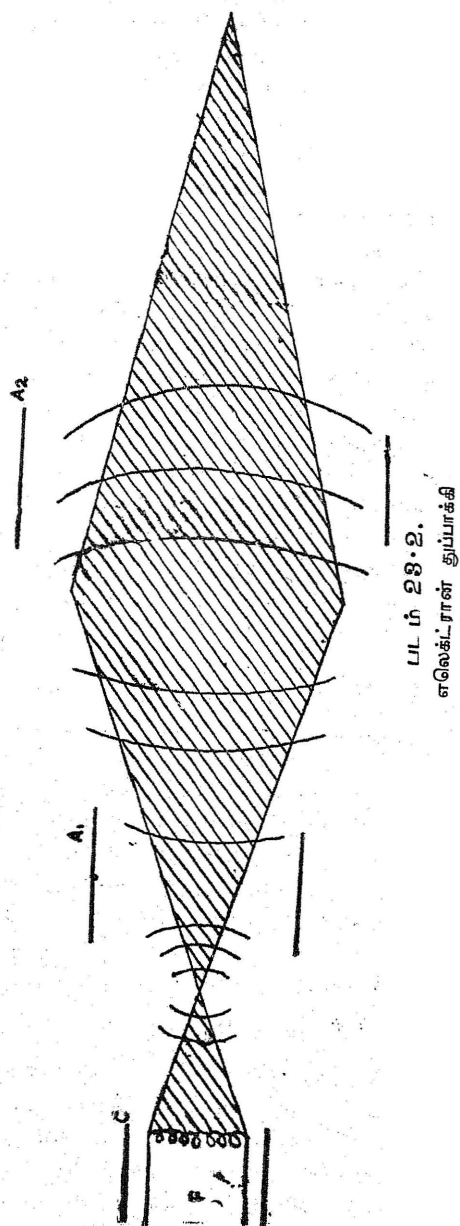



படம் 23·1
எதிர் மின்கதிர்க் குழாய்

எதிர் மின்கதிர்க் குழாயில் கீழ்க்கண்ட நுட்பங்களை கவனித்தல் வேண்டும். ஃபிலமெண்டிலிருந்து வெளிப்படுகின்ற எலெக்ட்ரான்களை மிக நுண்ணிய கற்றைகளாகக் குவித்தல் வேண்டும். ஓரளவுக்கு இந்தக் குவிதலைப் படத்தில் C என்று குறியிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ள வேனல்ட் உருளை (Wehnelt cylinder) செய்கிறது. இந்த உருளைக்கு எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளதால் அது எலெக்ட்ரான்களை, அவை ஃபிலிமெண்டை விட்டு வெளியேறியவுடன், குழாயின் அச்சை நோக்கி விலக்கித் தள்ளுகிறது. இந்த எலெக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்னூட்டம் உடையவையானதால் அவைகளுக்கிடையேயுள்ள விசையினால் விலகிச் செல்லவே முயலும். எனவே நிலை மின் குவிய முறையில் (electrostatic focussing system) இந்த எலெக்ட்ரான்கள் மேலும் குவிக்கப்படுகின்றன. இந்த முறையில் நடுவில் துவாரமுடைய ஒரு வட்டத் தட்டு நேர் மின்வாய்க்குப் பதிலாக, தொடர்ச்சியாகப் பல நேர் மின்வாய்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவைகளின் மின்னழுத்தமும் எலெக்ட்ரான்களைத் தொடர்ந்து குவிக்கின்ற முறையில் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லுகிறது. சாதாரணமாக இத்தகைய நேர் மின்வாய்கள் இரண்டு அல்லது மூன்று இருக்கும். ஃபிலமெண்ட், நேர் மின்வாய்கள் சேர்ந்த அமைப்பிற்கு எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி (electron gun) என்பது பெயர். இதன் அமைப்பு படம் 23·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

எலெக்ட்ரான் கற்றையை ஒரு காந்தப் புலத்தைக் கொண்டும் அதன் பாதையிலிருந்து விலக்கலாம். இந்த அமைப்பில் இரு இரட்டை கம்பிச் சுருள்கள் (two pairs of coils) மின்குழாய்க்கு வெளியே வைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த முறைக்குக் காந்தக் குவித்தல் முறை (magnetic focussing) என்பது பெயர். இந்த முறை நிலை மின் முறையை விடச் சிறந்தது. ஏனெனில் எலெக்ட்ரான் கற்றையை மிக நுண்ணியதாகவும், குறிப்பாக, திரையின் கோடியில் செம்மையான முறையிலும் காந்தப் புலத்தைச் சரிப்படுத்தி எலெக்ட்ரான்களைக் குவிக்கலாம். இந்தக் காரணங்களால் நிலை மின் குவித்தல் முறையைவிடக் காந்தக் குவித்தல் முறையே தற்காலத்தில் உபயோகத்தில் இருந்து வருகிறது.

எதிர் மின்கதிர்க் குழாயில் எலெக்ட்ரான் கற்றையைப் பக்கவாட்டிலோ அல்லது மேலும் கீழுமோ விலக்குவதற்கு இரு இரட்டைத் தகடுகள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன என்று பார்த்தோம். எலெக்ட்ரான் கற்றையை எந்தத் தளத்தில் (plane) விலக்குகின்றனவோ அந்தத் தளத்தின் பெயரால் அந்தத் தகடுகள் அழைக்கப்படுகின்றன. கிடை மட்டத்தில் விலக்கும் தகடுகள்




படம் 23·2.
எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி

கிடைமட்டத் தகடுகள் (horizontal plates) அல்லது $X$ தகடுகள் எனவும், செங்குத்துத் தளத்தில் விலக்கும் தகடுகள் செங்குத்துத் தகடுகள் (vertical plates) அல்லது $Y$ தகடுகள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. எதிர் மின்கதிர்க் குழாயில் கிடை மட்டத் தகடுகள் செங்குத்தாகவும், செங்குத்துத் தகடுகள் கிடை மட்டத்திலும் அமைந்துள்ளன. இரு இரட்டைத் தகடுகளும் உண்டாக்குகின்ற விலக்கங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசையிலிருக்கும். இந்தத் தகடுகளின் இருப்பிடம் குழாயின் நுண்ணுணர்வைப் பாதிக்கும். எவ்வளவுக்கெவ்வளவு தகடுகள் எலெக்ட்ரான் கற்றைக்கு அருகிலிருக்கின்றனவோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு கற்றையின் விலக்கம் அதிகரிக்கும். எனவேதான் இத்தகடுகள் குழாயினுள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இத்தகைய விலக்கத்திற்கு நிலை மின் விலக்கம் என்பது பெயர். மேலே கூறப்பட்ட விலக்கங்களை இரு இரட்டை மின் சுருள்களைக் கொண்டு காந்தப் புலன்களை உருவாக்கியும் பெறலாம். இந்த அமைப்பிற்குக் காந்தக் குவித்தல் முறை என்பது பெயர். இந்த அமைப்பில் கம்பிச் சுருள்கள் எதிர்முனைக் கதிர்க் குழாய்க்கு வெளிப்புறத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும். சுருள்கள் குழாயின் அச்சிலிருந்து சம தூரத்தில் இருக்கும். எலெக்ட்ரான் கற்றையின் விலக்கம் காந்தப் புலன்களின் வலிமையைப் பொறுத்துள்ளதால் புலன்கள் ஒரே சீராக இருத்தல் வேண்டும்.

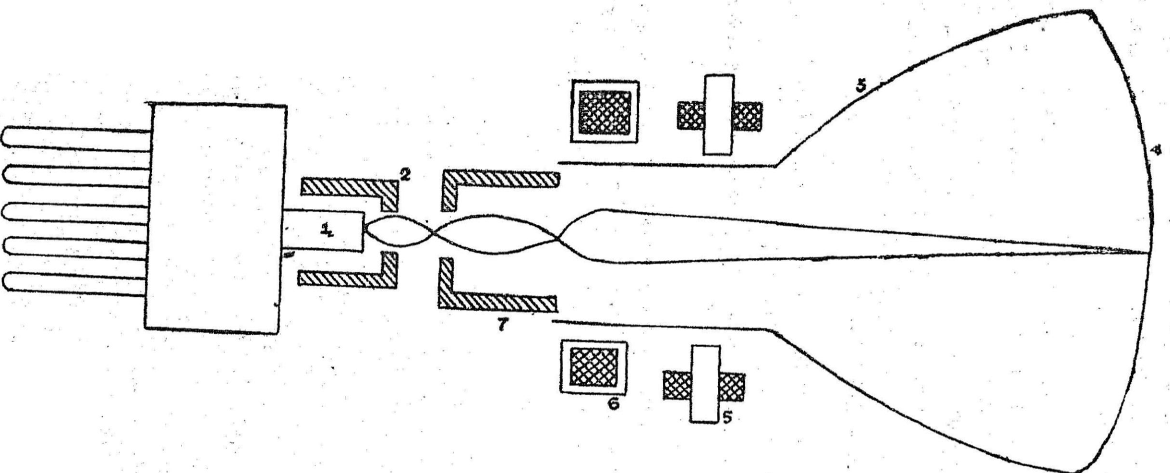
எதிர் மின்கதிர்க் குழாய் ஏறக்குறைய ஒரு கூருருளை (cone) வடிவத்தில் அமைந்துள்ளது. அதன் அகன்ற முனையில் ஓர் ஒளிர்விடும் திரையுள்ளது. குழாயின் நீளம், விட்டம் ஆகியவை தேவையான இடம், நுண்ணுணர்வு, ஒளிர்வு ஆகியவற்றைக் கருத்தில் கொண்டு நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட விலக்கத்திற்கு எவ்வளவுக்கெவ்வளவு குழாயின் நீளம் அதிகமாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு நுண்ணுணர்வும் அதிகமாகும். ஏனெனில் திரையில் இடமாற்றம், விலக்கத்தை உண்டாக்கும் தகடுகளுக்கும் திரைக்குமிடையேயுள்ள தூரத்தைப் பொறுத்துள்ளது. குழாயின் அமைப்பு கூருருளை வடிவத்தில் உள்ளதால் நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க திரையின் விட்டமும் அதிகரிக்கும். திரையின் விட்டம் அதிகரித்தால் நேர் மின்வாய் மின்னழுத்தமும் அதிகமாகும். எனவே நாம் மேலே கூறியபடி, இடம், நுண்ணுணர்வு, ஒளிர்வு ஆகியவற்றைப் பொறுத்து, குழாய் அமைக்கப்படுகிறது. உண்மையில் திரையில் எலெக்ட்ரான்கள் விட்டு விட்டே மோதுகின்றன. ஆனால் நம் கண்களில் இயற்கையாகவேயுள்ள பார்வை நீடிப்பு (persistance of vision) என்ற தன்மையினால் எலெக்ட்ரான்கள் தொடர்ச்சியாக மோதிக் கொண்டே

யிருப்பன போல் தோன்றுகின்றன. இது ஒரு சாதாரணத் திரைப் படத்தில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சியை ஒத்தது.

நமது கண்கள் சில வண்ணங்களை (colours) மட்டுமே மிக நன்றாக உணரக் கூடிய தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. எனவே காணப்படும் ஒளிர்வு புள்ளியின் வண்ணத்தைப் பொறுத்தது. ஒளிர்விடும் திரை, வில்லிமைட் (willemite), அதாவது துத்தநாக ஆர்த்தோ சிலிகேட் (zinc ortho-silicate) என்ற பொருளால் பூசப் பட்டிருந்தால் பச்சை வண்ணமும் (green display). மகனீசியம் ஃப்ளூரைடு (magnesium fluoride) என்ற பொருளால் பூசப்பட்டிருந் தால் ஆரஞ்சு வண்ணமும், துத்தநாக ஆக்ஸைடு (zinc oxide) என்ற பொருளால் பூசப்பட்டிருந்தால் நீல வண்ணமும், நாக பெரிலியம் சிலிகேட் (Zinc beryllium silicate) என்ற பொருளால் பூசப்பட்டிருந்தால் மஞ்சள் வண்ணமும், நாக ஸல்பைடும், காட் மீயம் நாக ஸல்பைடு அல்லது நாக பெரிலியம் சிலிகேட்டும் கலந்து பூசப்பட்டிருந்தால் வெள்ளை வண்ணமும் கிடைக்கும்.

மேலே கூறப்பட்ட பொருள்கள் யாவும் எலெக்ட்ரான்கள் திரையில் மோதிய சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகும் ஒளிர் விடுகின்றன. அவை ஒளிர் விடும் நேரத்தை எதிர் மின் கதிர்க் குழாயைத் தயாரிக்கும் பொழுதே கட்டுப்படுத்தலாம். ஃப்ளூரைடு தடவப் பட்ட திரை நீண்ட நேரத்திற்கு ஒளிர் விடும். எனவே இத்தகைய திரைகள் நிலப் படத்தில் இடங்காட்டி (plan position indicator) அமைப்பில் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. எங்கெங்கு மாற்றங்கள் விரைவில் நிகழுகின்றனவோ அங்கெல்லாம் எலெக்ட்ரான்கள் திரையில் மோதிய பிறகு ஒளிர் விடும் நேரம் குறைவாக இருத்தல் வேண்டும்.

எலெக்ட்ரான்கள் ஒளிர் விடும் திரையில் மோதும் பொழுது உண்டாகும் ஒளிப் பொட்டின் பொலிவு (brightness) அங்கு வந்து சேரும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தது. மேலும் எலெக்ட்ரான்களின் திசை வேகம் அதிகரித்தாலும் ஒளிப் பொட்டின் பொலிவு அதிகரிக்கும். ஆனால் இந்த முறை பொது வாகப் பின்பற்றப்படுவதில்லை. பொதுவாக, எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை மாற்றியே பொலிவும் மாற்றப்படுகிறது. *C* என்ற உருளையின் மின்னழுத்தத்தை மாற்றி எலெக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கையை மாற்றலாம். இந்த உருளையின் மின்னழுத் தத்தை மாற்றும் அமைப்பு, பொலிவுக் கட்டுப்பாடு (brightness control) எனப்படும். படம் 23·3-ல் மின் காந்த வகை எதிர் மின் கதிர்க் குழாயின் அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. இது அமைப்பில்




1. எதிர்மின்வாய்
2. உருளை
3. ஆக்வாடாக் நேர் மின்வாய்
4. ஒளிர் திரை
5. விலக்கும் கம்பிச் சுருள்
6. குவிக்கும் சுருள்
7. முதல் நேர் மின்வாய்.

படம் 23 3.

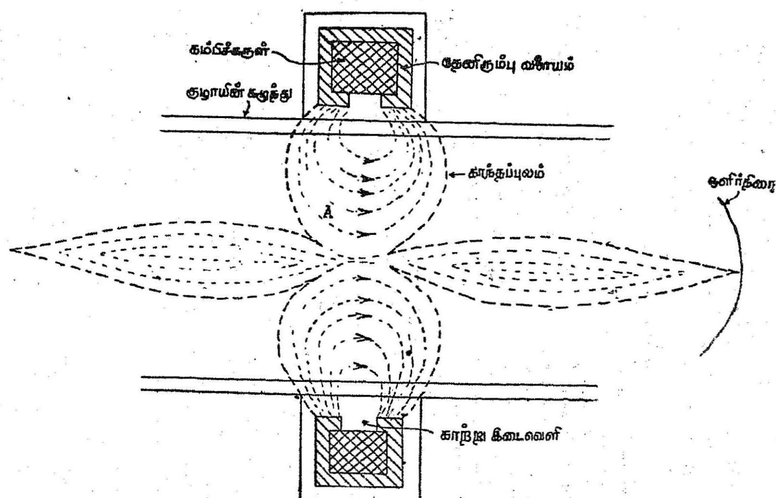
மின் காந்த வகை எதிர் மின்கதிர்க் குழாய்

நிலை மின்கதிர்க் குழாயைப் பல விதத்திலும் ஒத்தது. மின் காந்த வகைக் குழாய் மற்றதைவிட நீளத்தில் சற்று குறைந்தது ஆனால் குழாயின் கழுத்துப் பக்கத்தில்கம்பிச் சுருள்களை வைப்பதற்குத் தேவையான இடம் உள்ளது.

மின் காந்த வகைக் குழாயில் நிலை மின்கதிர்க் குழாயைப் போலவே நேர் மின்வாய், உருளை, எதிர் மின்வாய் ஆகியவை உண்டு. ஆனால் நேர் மின்வாய் ஒன்றே ஒன்றுதான், நிலை மின் கதிர்க் குழாயிலுள்ள இரண்டாவது நேர் மின்வாயின் எலெக்ட்ரான் ஒடுக்க வேலையை அக்வாடேக் (Aqua dag) என்ற பூச்சு செய்கிறது. மின் காந்தக் குழாய்க்கும், நிலை மின் குழாய்க்கும் உள்ள முக்கியமான வேறுபாடுகளாவன :

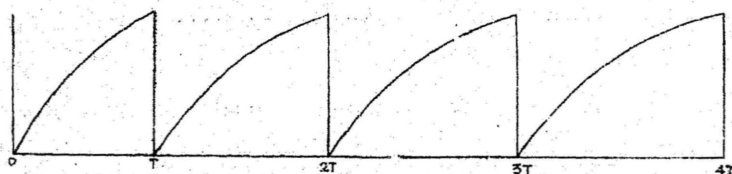
**(1)** நேர் மின்வாய் எலெக்ட்ரான் கற்றையைக் குவிப்பதில்லை. எலெக்ட்ரான்கள் குழாயின் கழுத்தைச் சுற்றியுள்ள கம்பிச் சுருளில் உண்டாகின்ற காந்தப் புலன்களால் குவிக்கப் படுகின்றன.

(2) நிலை மின் தகடுகளுக்குப் பதிலாகக் கம்பிச் சுருளில் உண்டாகும் காந்தப் புலன்கள் எலெக்ட்ரான் கற்றையை மேலும் கீழும் பக்க வாட்டிலும் விலக்குகின்றன. படம் 23·4 இவற்றை விளக்குகிறது.




படம் 23 4.
காந்தப் புலன்களால் எலெக்ட்ரான்கள் விலக்கம்

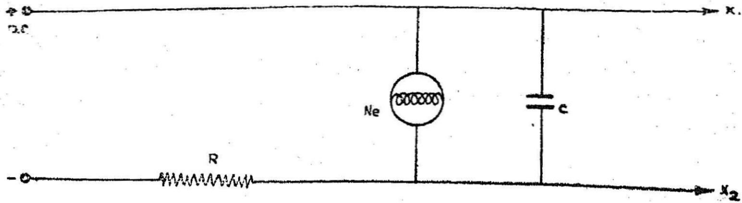
எதிர்மின் கதிர்க் குழாயைப் பல்வேறு ஆராய்ச்சிகளுக்குப் பயன்படுத்துகின்றனர். நமது வீடுகளில் உபயோகப்படும் ஒரு வினாடிக்கு 50 சுற்று இரு திசை மின்னழுத்தத்தை $P_1$ தகடுகளுக்கு ஊட்டினால், திரையில் விழும் பொட்டு வினாடிக்கு 50 தடவை ஊசலாடும். இப்படி வினாடிக்கு 50 தடவை ஊசலாடுவதை நமது கண்கள் தனித்தனியே காண இயலாது. அது ஒரு செங்குத்தான கோடு போலவே நமக்குத் தோன்றும். இரு திசை மின்னழுத்தத்தின் வடிவத்தைக் காணவேண்டுமானால் பொட்டு மேலும் கீழும் செல்கையில் அதைப் பக்கவாட்டிலும் இழுக்க வேண்டும். இதற்கு $P_2$ தகடுகளுக்குச் சீராக அதிகரிக்கும் மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்க வேண்டும். அப்பொழுது அலை வடிவம் கிடைக்கும். $P_1$ தகடுகளை $Y$ தகடுகள் என்றும், $P_2$ தகடுகளை $X$ தகடுகள் என்றும் கூறுவர். ஏனெனில் $P_1$ தகடுகள் எலெக்ட்ரான்களை $Y$ திசையிலும், $P_2$ தகடுகள் எலெக்ட்ரான்களை $X$ திசையிலும் இழுக்கின்றன. $X$ தகட்டின் மின்னழுத்தம் அதிகரித்துக் கொண்டேபோனால் பொட்டு வலப்புறமாகவே சென்று இறுதியில் திரைக்கு அப்பால் போய்விடும். பொட்டு வலப்புறக் கோடிக்குச் சென்றதும் உடனே அது இடப்புறக் கோடிக்கு வரும்படி செய்ய வேண்டும். இதற்கு $X$ தகட்டின் மின்னழுத்தத்தைத் திடீரென்று சுழியாக்கி விடவேண்டும். அதாவது $XX$ தகடுகளுக்கு படம் 23·5-ல் காட்டியதுபோல் மின்னழுத்தத்தைத் தரவேண்டும். இது வடிவத்தில் ஓர் இரம்பத்தின் பற்களைப் போலிருப்பதால் இதற்கு இரம்பப் பல் மின்னழுத்தம் (saw - tooth potential) என்பது பெயர். அலை வடிவங்களை ஆராய்வதற்கு இத்தகைய மின்னழுத்தங்களையே $X$ தகடுகளுக்குக் கொடுக்க வேண்டும். பொட்டு சீரான திசைவேகத்தில் நகர்வதால் இதற்கு "நேர் கோட்டுக் கால வடி" (linear time base) என்பது பெயர்.




படம் 23·5.
இரம்பப் பல் மின்னழுத்தம்

இத்தகைய மின்னழுத்தத்தைப் படம் 14·6-ல் காட்டிய மின்சுற்றினால் பெறலாம். மின்சுற்றில் $C$ என்பது ஒரு மின் தேக்கி;

N என்பது ஒரு நியான் விளக்கு. இவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாகச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு திசை மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்தவுடன் மின்தேக்கி R என்ற மின்தடையின் வழியே மின்னேற்றம் அடைகிறது. எனவே அதன் மின்னழுத்தம் சீராக



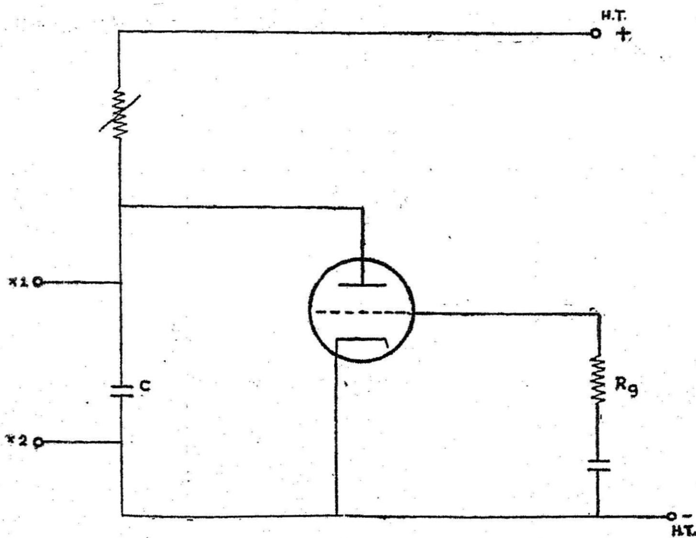

படம் 23.6.

நேர்க்கோட்டுக் கால வடிச் சுற்று

உயருகிறது. மின் தேக்கியின் மின்னழுத்தம் சுமார் 150 வோல்ட்டு களானவுடன் மின் விளக்கு எரிகிறது. எனவே மின்தேக்கியின் மின்னூட்டம் சுழியாகிறது. உடனே நியான் விளக்கு அணைந்து மின்தேக்கி மறுபடியும் மின்னூட்டம் அடைய ஆரம்பிக்கிறது. இது அடுத்து அடுத்து நடைபெறுவதால் மின்தேக்கியின் தகடு களிடையே மின்னழுத்தம் இரம்பப் பல் வடிவத்தில் உயர்ந்து, சுழியாகி, மறுபடியும் உயர்ந்து, சுழியாகி, மறுபடியும் உயருகிறது. இது நடைபெறுகின்ற நேரம், மின்தேக்கி, மின்தடை ஆகிய வற்றின் பெருக்கற் பலனுக்கு (CR-க்கு) நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. எதிர் மின்கதிர்க் குழாயில் இதை X தகடுகளுக்கும், ஆராயப்படும் அலை வடிவ மின்னழுத்தத்தை Y தகடுகளுக்கும் தர வேண்டும். அலை வடிவம் ஒளிர் திரையில் அசையாமல் இருப்பதற்கு இருவிதத் தகடுகளுக்கும் தரப்படும் மின்னழுத்தங்களின் அடுக்கங்கள் சமமாக இருத்தல் வேண்டும். C-ன் மதிப்பையோ அல்லது R-ன் மதிப்பையோ மாற்றி இரம்பப் பல் மின்னழுத்தத்தின் அடுக்கத்தை மாற்றலாம்.

ஒரு சீரிய "நேர்கோட்டுக் கால வடி" (Ideal linear time base) ஒரு தைரட்ரான் மின்குழாயினால் உருவாக்கப்படுகிறது. தைரட்ரான் மின்குழாயில் கிரிடு, நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை ஓர் அளவு வரையில் மட்டுமே கட்டுப்படுத்துகிறது. இதற்குமேல் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் உச்சக் கட்டத்தை அடைகிறது. பிறகு கிரிடு, நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தை மறுபடியும் கட்டுப் படுத்துகிறது. ஓர் உயர் மின்தடை R-ம், ஒரு மின் தேக்கி C-ம், ஓர் உயர் மின்னழுத்த இயற்றியுடன் (H.T. supply) படம் 23.7-ல்

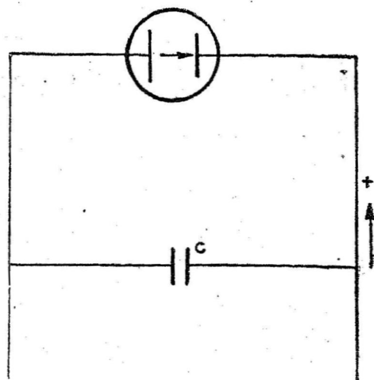
காட்டியபடி, தொடர் இணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மின்தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையே தோன்றும் மின்னழுத்தம் தைரட்ரான் மின்குழாயின் நேர் மின்வாய், எதிர் மின்வாய் ஆகியவற்றுக்கிடையே செலுத்தப்படுகிறது. கிரிடுக்குத் தேவையான எதிர் மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்கவேண்டும். உயர் மின்னழுத்த இயற்றியை இணைக்கும்பொழுது மின்தடை வழியே ஒரு மின்னோட்டம் நிகழ்ந்து மின்தேக்கி மின்னூட்டம் பெறுகிறது. எனவே அதன் தகடுகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்தம் உருவாகிறது. இந்த மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடைந்தவுடன் மின்தேக்கியில் மின்னிறக்கம் நிகழ்கின்றது. எனவே நேர் மின்வாய் மின்னோட்டம் விரைவாக அதிகரிக்கின்றது. ஏனெனில் நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தின்மேல் கிரிடு தனது கட்டுப்பாட்டை இழந்து விடுகிறது. இதற்குள் மின்னோட்டம்




படம் 23·7.
தைரட்ரான் நேர்கோட்டுக் கால வடி

உச்சநிலையை அடையவே மின்தேக்கி மறுபடியும் மின்னூட்டம் பெற்று:நேர் மின்வாய் மின்னோட்டத்தின்மேல் தனது ஆட்சியை திருப்பப் பெற்று விடுகிறது. இது திரும்பத் திரும்ப நிகழ்கிறது. மின் தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையே மின்னழுத்தம் நேர் கோட்டுக் கால வடியின் அடிப்படையில் உயருகிறது; மறுபடியும் சுழியாகி மறுபடியும் உயருகிறது. இதன் கால மின்னழுத்த வளைகோடு

(time voltage curve) இரம்பப் பல் வடிவத்தில் அமைகிறது. இந்த இரம்பப் பல் மின்னழுத்தத்தின் அடுக்கம் $CR$ பெருக்கற்பலனைப் பொறுத்திருக்கும். $C$ ஐ நிலையாக வைத்துக் கொண்டு $R$-ன் மதிப்பை மாற்றி $CR$-ன் தகுந்த மதிப்புகளைப் பெறலாம். இந்த இரம்பப் பல் மின்னழுத்தம் எதிர் மின்கதிர்க் குழாயின் $X$ தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. எதிர் மின்கதிர்க் குழாயை, அலை வடிவங்களை ஆராயவும், அடுக்கங்களைக் கண்டு பிடிக்கவும், ரேடியோ, ராடார் ஆகியவற்றின் பரப்பி, ஏற்பிகளைச் சோதிக்கவும், வளி, மண்டலத்தின் அடுக்குகளை ஆராயவும் உபயோகிக்கலாம். இத்துடன் ராடார், தொலைக்காட்சி கருவிகளில் எதிர் மின்கதிர்க் குழாய் மிக முக்கிய அங்கம் வகிக்கிறது; ராடார் வானியல் பரிசோதனையில் பெரிதும் பயன்படுகிறது. படம் 23·6-ல் காட்டப்பட்ட கால வடிச் சுற்றைப் பற்றி மேலும் சிறிது பார்ப்போம். இந்தச் சுற்றில் உண்டாகின்ற மின்னழுத்தம் எதிர் மின்கதிர்க் குழாயின் $X$ தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இது படம் 23·8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

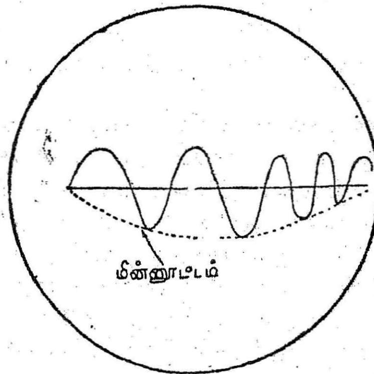



படம் 23·8.

எதிர் மின்கதிர்க் குழாயும் நேர் கோட்டுக் கால வடியும்

தொடக்கத்தில் ஒளிப் பொட்டு திரையின் இடப் பக்கத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். மின்தேக்கி மின்னூட்டம் பெறும் பொழுது ஒளிப்பொட்டு வலப் புறமாக நகரும்; மின்தேக்கி மின்னிறக்கம் அடையும் பொழுது ஒளிப்பொட்டு வெகு விரைவாக இடப் பக்கத்தை நோக்கிப் பறந்து செல்லும்; மின் தேக்கியின் தகடுகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் சிதறிவிடும் என்றெல்லாம்

முன்பு பார்த்தோம். மின்னழுத்தம் சம அளவில் மாறுபடும் பொழுது ஒளிப்பொட்டு சம தூரங்கள் நகரும். ஆகவே தொடக்கத்தில் மின்னழுத்தம் விரைவாகவும் பிறகு மெதுவாகவும் மாறுபடுவதால், கால அளவு கோல் படம் 23·9-ல் காட்டியபடி தோன்றும்.




படம் 23·9.
கால அளவு கோல்

சரியான நேர் கோட்டமைப்பைப் (perfect linearity) பெறுவதற்கு மின் தேக்கி மின்னழுத்தம் $V_c$ காலத்துடன் நேர் கோட்டு முறையில் அதிகரிக்கவேண்டும். அதாவது,

$$\frac{dV_c}{dt} = \text{மாறிலி } k$$

ஆனால் $V=Q/C$. எனவே நேரத்துடன் மின்னூட்டம் மாறுபடுகின்ற தகவு ஒரு மாறிலி ஆகிறது.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{Q}{C}\right) = k = \frac{dV_c}{dt}$$

ஆனால் மின் தேக்கியின் மின் தேக்கு திறன் $C$ ஒரு மாறிலியாகும்.

ஆகவே,

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{Q}{C}\right) = \frac{1}{C}\frac{dQ}{dt} = K$$

$$\therefore \quad k = \frac{1}{c} \quad ic$$

இங்கு $i_c$ என்பது மின் தேக்கியின் மின்னூட்ட மின்னோட்டமாகும். இவ்வாறு $V_c$ ஐ ஒரு நேர்கோடாக மாற்றுவதற்கு மின்னூட்ட மின்னோட்டப் ஒரு மாறிலியாக இருக்கவேண்டும். அடிக்குக் குறியியல் கால வடியின் மின்தடையான $R$ ஐ ஒரு தெவிட்டிய $L$ யோடு அல்லது ஒரு மின்னழுத்தப் பென்டோடு போன்ற ஒரு நிலையான மின்னோட்டக் கருவியால் அப்புறப்படுத்த வேண்டும். இதைப்பற்றி விரிவாக வேறொரு பகுதியில் கூறப்படும்.

கால வடிச் சுற்றுகள் குறிப்பிட்ட சூழ்நிலைகளுக்குத் தகுந்தாற்போல் தொலை இயக்க இரம்பப் பல் அலைவியற்றிகளாகவோ அல்லது தாமே இயங்கும் இரம்பப் பல் அலைவியற்றிகளாகவோ பயன்படுகின்றன. தொலை இயக்க இரம்பப் பல் அலைவியற்றிகள் ஓர் இலையவுப் பொறுத்தத் துடிப்பினால் துவக்கி வைக்கப்படுகின்றன. அவ்வாவே திரையில் ஒளிப்பொட்டின் அசைவானது துடிப்பு இயற்றியின் அடுக்கத்தோடு ஒத்து இருக்கிறது. இது ராடார், தொலைக் காட்சி (Television) ஆகியவற்றில் பயன்படுகிறது. தாமே இயங்கும் அலைவியற்றிகள் உண்டாக்கும் கால வடியின் விரைவு இயக்கப் மின் சுற்றில் சில மாறுதல்கள் செய்யப்படுவதால் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. இவ்வகைகள் ஆசிலோஸ் கோப்புகளில் பயன்படுகின்றன.

கால வடி இயற்றிகளில் மின்தேக்கி மின்னிறக்கம் அடைகின்ற பாதையின் மின்தடையை மிக மிகக் குறைவாக வைத்திருப்பது ஒரு கடினமான செயலாகும்; நேர்முக விரைவுக்கும், விரைந்து மீள்கின்ற நேரத்திற்கும் உள்ள தகவு மிக அதிகமாக இருக்கும். தைரட்ரான் மின் குழாயைப் பயன்படுத்தி தொழிற்படுகின்ற ஓர் இயற்றியில் விரைந்து மீள்கின்ற நேரம் வாயுவின் அயனி இறக்க நேரத்தை விடக் குறைவாக இருக்க முடியாது.

எனவே,

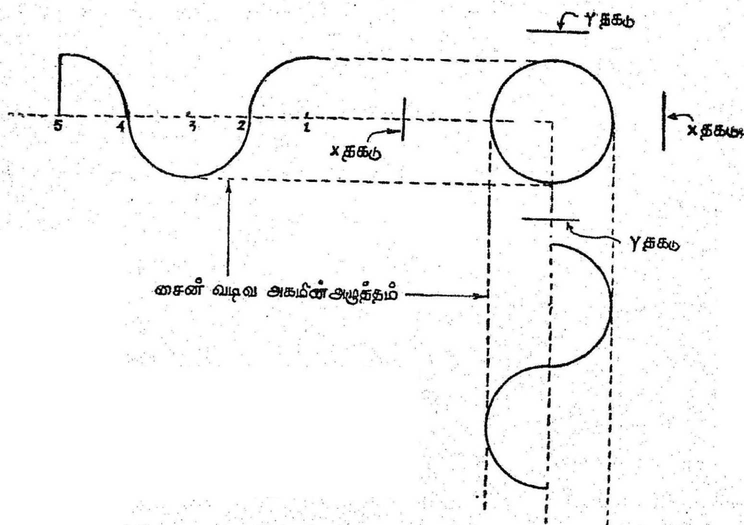
$$\text{தகவு} = \frac{\text{நேர்முக விரைவு நேரம்}}{\text{விரைந்து மீள் நேரம்}},$$

செய்முறையின் அடுக்கம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கக் குறைகிறது. இத்தகைய கால வடிகள் விநாடிக்கு 40 அல்லது 50 சைகிள்களுக்குமேல் இருக்கும்பொழுது பயனற்றவை ஆகிவிடுகின்றன. இந்த நிலைகளின் கடின மின்குழாய் இயற்றிகள் நன்கு செயற்படுகின்றன. டக்கின் என்பவரால் கொடுக்கப்பட்ட மின்சுற்று எந்தவித இடையூறும் இல்லாமல் விநாடிக்கு 2,50,000 சுற்றுகள் வரை உண்டாக்குகிறது

### வேறுவகைக் கால வடிகள்

சில இடங்களில், குறிப்பாக ராடாரில், அடுக்குக் குறி அல்லது நேர்கோட்டு வகைகளைத் தவிர வேறுவகைக் கால வடிகளும் தேவைப்படுகின்றன. அவைகள் வட்ட (circles), சுருள்வில் (spiral), ஆரக்கால் (radial) கால வடிகளாகும். அவைகளைப் பற்றிச் சுருக்கமாக இங்குப் பார்ப்போம்.

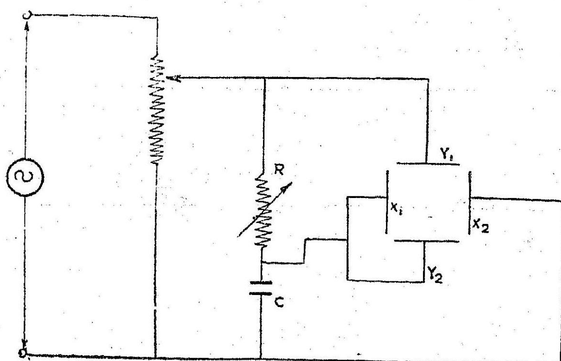
எல்லா வகைகளையும் போலவே வட்டக் கால வடியும் நிகழ்ச்சிகளின் நேரங்களை ஒப்பிடப் பயன்படுகிறது. இதில் படம் 23·10-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் *X, Y* அச்சுகளுக்கு ஒரே சைன் வடிவ மின்னழுத்தத்தின் நான்கில் ஒரு பகுதியைக் கொடுக்கிறோம். இந்தப் பகுதிகளைப் பெறுகின்ற முறை படம் 23·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 23·10.
வட்டக் கால வடி

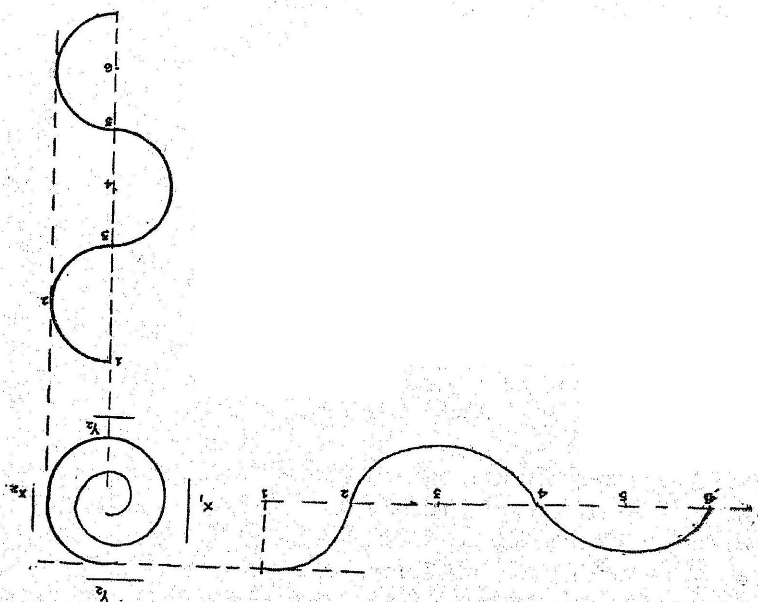
*X, Y* திசைகளில் கொடுக்கப்பட்ட சைன் வடிவ மின்னழுத்தங்களின் செயலுறு வீச்சுகள் சமம் என்றும் *X, Y* தகடுகளின் நுண்ணுணர்வுகளுக்கு ஒரு திருத்தம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது என்றும் கொண்டால், மின்னழுத்தங்கள் 90 டிகிரி அல்லது 270 டிகிரி கட்ட பேதத்தில் இருக்கும்பொழுது எதிர் மின்கதிர்க் குழாயின் திரையில் ஒரு வட்டம் கிடைக்கும். படம் 23·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ள மின் சுற்றிலுள்ள மின் தடை *R*-ன் மதிப்பு

$1/\omega C$-க்குச் சமமாக இருத்தல் வேண்டும். மற்ற வகை வீச்சுகளுக்கும் கட்ட பேதங்களுக்கும் வடிவம் ஒரு நீள் வட்டமாக (ellipse) இருக்கும்.




**படம் 23·11.**

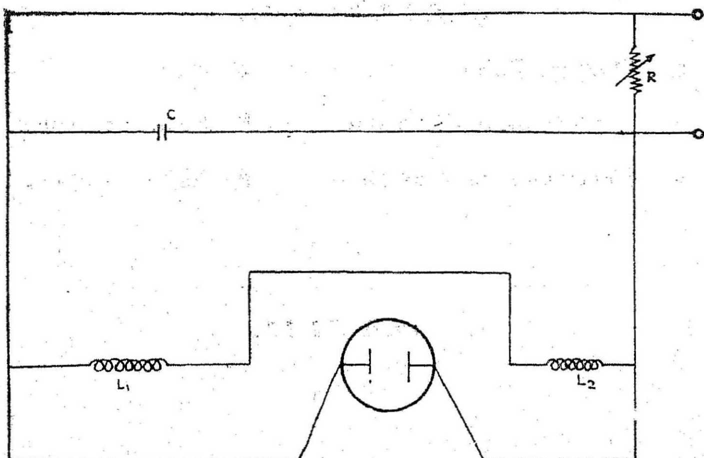
வட்டக் கால வடிச் சுற்று



**படம் 23·12**

சுருள்வில் கால வடி

ஒரு சிறிய குழாயின் திரையில் ஒரு நீண்ட வடிவ ஒளிப் பொட்டை ஒரே சமயத்தில் பெற்ருல் அது சுருள் வடிவ கால வடியைக் குறிக்கும். ஒரு சுருள் வடிவக் கால வடியை உற்பத்தி செய்வதற்கு ஒரே அடுக்கமுடைய சைன் வடிவ மின்னழுத்தம் நான்கிலொரு பகுதிகளாகத் தேவை. இது 23·12 ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.




படம் 23·13.
சுருள்வில் கால வடிச் சுற்று

படம் 23·13-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது போன்ற ஒரு மின் சுற்று, சுருள் வடிவக் கால வடியை உற்பத்தி செய்யத் தகுந்த தாகும். இந்த அலைவுச் சுற்றில் $L$, $L_1$ என்ற கம்பிச் சுருள்களும் $X$ தகடுகளும் உள்ளன; குறுகிய நீண்ட சதுர வடிவ இசைவுப் பொறுத்தமுடைய துடிப்புகள் அலைவுச் சுற்றை இயக்கப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. அவை $C$, $R$ ஆகியவற்றினிடையே தடை யுறு நான்கிலொரு பகுதி வடிவுடைய அலைவுறு மின்னழுத்தப் பகுதிகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. வட்டக் கால வடிச் சுற்று களையும், நேர் கோட்டுக் கால வடிச் சுற்றுகளையும் தக்கபடி பயன் படுத்தியும் சுருள் வடிவக் கால வடியைத் தயாரிக்கலாம். ஆரக் கால் கால வடிச் சுற்று ராடாரில் பல விதங்களில் பயன்படுகிறது. ஒரு நேர்க் கோட்டுக் கால வடிச் சுற்றைத் திரையின் மையத்தி லிருந்து விளிம்பு வரை உபயோகப்படுத்துகிறோம். இதன் விரைவை ஒரு சக்கரத்தின் கால்கள் சுற்றுவதுபோல் தொடர்ந்து விரைவாகச் சுற்றுகிறோம். எனவே, திரையில் ஒளிப்பொட்டு மையத்திலிருந்து

புறப்பட்டு திரையின் ஓரத்திற்குச் செல்லும். பொட்டுச் செல்லும் பாதை நேர் கோடாகத் தெரியும். ஏரியல் நிலையாக ஒரு திசையை நோக்கி இல்லாமல் சுழன்று கொண்டிருக்கும் பொழுது கால வடிச் சுற்றும் திரையின்மீது சுழலும். இத்தகைய கால வடிச் சுற்றுகள் ராடாரில் பயன்படுகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Electron Tubes — *By Seely.*
2. Hand Book of Electronics — *By Gupta and Kumar*
3. Electronics made simple — *By Henry Jacobwitz*

# 24. சந்திரனைப் பற்றிய ராடார் ஆராய்ச்சிகள்

**(Radar studies of the Moon)**

பூமியிலுள்ள மிகப் பெரிய தொலைநோக்கிகளைக் கொண்டு நிலாவின் பரப்பிலுள்ள $\frac{1}{2}$ கிலோ மீட்டர் அல்லது அதற்கு அதிக மான பரிமாணங்களைக் கொண்ட பொருள்களை மட்டுமே பார்க்க முடியும். மாறாக, ஒளி அளவியல் (photometry) முறைகளைக் கொண்டு, மில்லி மீட்டர் பரிமாணங்களையுடைய பொருட்களையும் அறிய முடியும். மனிதனின் நிலாப் பயணம் வெற்றிகரமாக நடைபெறுவது, இந்த இரு முறைகளில் அறியப்படும் நிலாவின் பரப்பின் தன்மையைப் பொறுத்துள்ளது. நிலாவின் பரப்பில் பெரிய பெரிய மேடுகள் மிக அதிகமாக இருக்குமானால், விண் வெளிக் கப்பலை அதில் இறக்குவது இயலாத காரியம் என்று நம்பப்பட்டு வந்தது. மாறாக, பரப்பு மிகவும் அடர்வு குறைந்திருந் தாலும் மனிதன் நிலாவில் இறங்குவது சாத்தியமாகாது. அண்மை யில் செய்யப்பட்ட நிலாப் பயணங்களில் மனிதன் நிலாவிற்குச் சென்று திரும்பி வந்து விட்டான். எனவே விண்வெளிப் பயணத் திற்கு நிலா உகந்தது என்பது தெளிவாயிற்று.

1962-லேயே ஈவான்ஸ் என்பவர் சந்திரனைப் பற்றிய ராடார் முடிவுகளைத் தொகுத்தளித்தார். நிலாவின் பெரும்பகுதி, ராடார் சைகைகள் பொறுத்தவரை உபயோகமற்றவையாக இருந்தாலும், புதிதாகத் தோன்றிய மேடு பள்ளங்கள் அவற்றின் சுற்றுப் புறத்தைப் பொறுத்தவரை மிகவும் ஒளிமயமாக உள்ளன என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

சென்ற பகுதியில் கூறப்பட்ட ராடார் சமன்பாடு புள்ளி இலக்குகளுக்கே பொருந்தும்; அதாவது ராடாரினால் நோக்கும் பொழுது இந்த இலக்குகளின் கோணவிட்டம் (angular diameter)

ஆன்டென்னுக் கற்றையின் கோணவிட்டத்தை விடக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். நிலவைப் பற்றி ஆராய 11·6 மைக்ரோ விநாடி நேரமுள்ள துடிப்பைப் பயன்படுத்துகின்றனர். 11·6 மைக்ரோ விநாடியை விடக் குறைந்த நேரத்தையுடைய துடிப்பை உபயோகப்படுத்தினால் ராடார் இலக்கின் செயலுறு பரப்பு $S$, அதன் பெருமதிப்பை அடையாது. மேலும் நிலாவின் சுழற்சி, எதிரொளிக்கப்பட்ட சைகைகள், டாப்ளர் விளைவின் காரணமாக விரிவாக்கப்படும். இந்த இடையூறுகளிலிருந்து விடுபட ஏற்பியில் ஒரு குறுகிய பட்டை வடிக் கப்பியைப் (filter) பயன் படுத்தலாம் ஆனால் அப்பொழுதும் இலக்கின் ராடார் பரப்பு குறைந்துவிடும். இந்தப் பகுதி முழுவதிலும் நிலாவின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பை $S$ என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடுவோம். ½ டிகிரி ஆன்டென்னுக் கற்றை அகலமோ அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அகலமோ உள்ள ராடாரைப் பயன்படுத்தி இந்தக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பை அளக்கலாம். நடைமுறையில் நிலாவிலிருந்து எதிரொளிக் கப்படுகின்ற சைகைகள், ஆக்கக் குறுக்கீட்டு விளைவு (constructive interference), அழிவுக் குறுக்கீட்டு விளைவு (destructive interference), ஆகியவற்றின் காரணமாக வலிவு குறைந்து காணப்படு கின்றது. இந்தக் குறுக்கீட்டு விளைவு நிலாவின் பல்வேறு பகுதி களிலிருந்து வருகின்ற எதிரொளிப்புச் சைகைகளிலிருந்து ஏற்படு கின்றன எனவே $S$ ஐத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க பல்வேறு துடிப்புகளில் பெறும் எதிரொளிப்புத் திறன்களிலிருந்து சராசரி மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும்.

ஆன்டென்னாவின் பட்டை அகலம் நிலாவின் விட்டத்திற்கு ஒப்பிடத்தகும் வகையில் இருக்கும்பொழுது நிலாவில் படும் திறனின் பங்கீடு தெரிந்தால் $S$-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு ஆன்டென்னாவின் கற்றை அச்சை, நிலாவின் மையத்தை நோக்கித் திருப்பி, ஆன்டென்னாவின் கற்றை அமைப்பை (antenna pattern), அதன் அச்சைப் பொறுத்து, வட்டவடிவமாக சமச்சீர் உடையதாகச் செய்தால், எதிரொளிப்புத் திறன்

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{64 \pi^3 R^4} \int_{-\pi_{12}}^{+\pi_{12}} A^2(\theta)\, S(\theta)\, 2\pi \sin\theta\, d\theta \quad \dots(1)$$

ஆகும். இதில் $\lambda$ என்பது ரேடியோ அலை நீளம்; இங்கு $\theta$ என்பது ராடாரில், நிலாப் பரப்பில் $d\theta$ அகலமுள்ள ஒரு வளையத்திற்கும் கற்றை அச்சிற்கும் இடைப்பட்ட பகுதி தாங்கும் கோணமாகும். $S(\theta)$ என்பது ஓரலகுத் திண்மக் கோணத்தின் ராடார் குறுக்கு

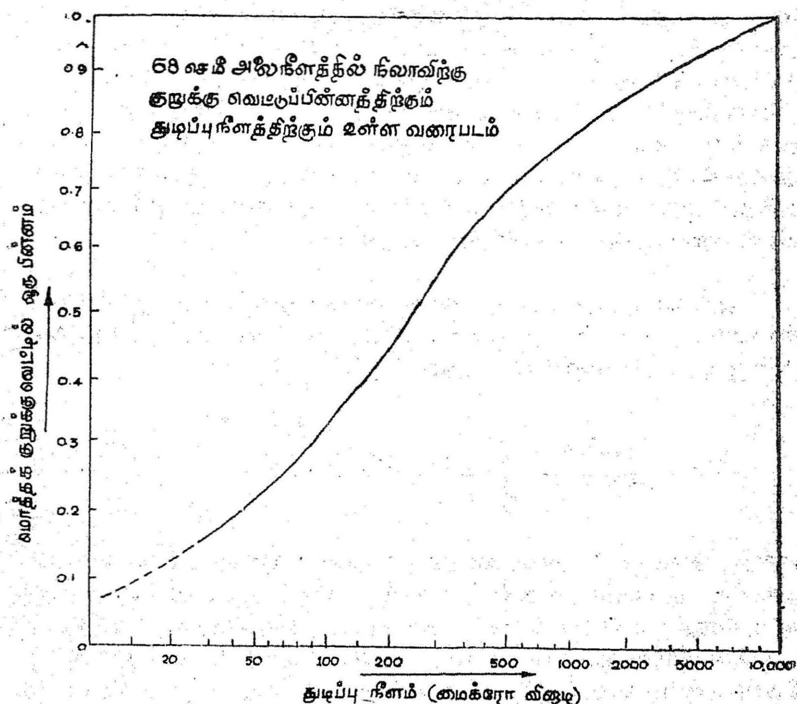
வெட்டு முகமாகும். $A(\theta)$ என்பது ஆன்டென்னுக் கற்றை அமைப்பின் இயல்பாக்கப்பட்ட (normalised) மதிப்பாகும். $A(\theta) = 1$ ஆனால் $\theta = 0°$ இப்பொழுது $S(\theta) = 1$ ஆனால் (normalised). மேலே கண்ட சமன்பாடு (1)-ன் தொகுனியாககம், அகன்ற கற்றை ஆன்டென்னுக்களுக்கு. ১-க்குச் சமம். ஆன்டென்னு ஆற்றலைப் பரப்பல். ஏற்றல் ஆகிய இரண்டு முறைகளிலும் ஒரே அளவில் இயங்குவதால் $A(\theta)$ என்பது ஓர் இருமடியாக, சமன்பாடு (1)-ல் போடப் படுகிறது.

ஆன்டென்னுக் கற்றை அகலமாகவும் துடிப்பு நேரம் $\tau$ (Tow) நிலாவின் ராடார் ஆழத்தை விடச் சிறியதாகவும் இருக்கும் பொழுது, எதிரொளிப்புத் திறன்

$$P_r = \frac{P_t\, G\, A}{(4\pi\, R^2)^2} \int_0^T g(\tau)\, S(t - T)\, d\tau \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

என்ற சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகிறது. இங்கு $g(\tau)$ என்பது பரப்பித் துடிப்பில் உள்ள ஆற்றலை, காலத்தின் அடிப்படையில் கூறுகிறது. $S(\tau)$ என்பது தாமதிப்பு நேரத்தைப் பொறுத்து எதிரொளிப்புத் திறனின் சராசரிப் பங்கீடாகும். இந்தத் தாமதிப்பு நேரம் (delay time) ஒரு குறுகிய சதுரத் துடிப்பு $\tau'$ என்பதால் $(\tau' \longrightarrow 0)$ அளக்கப்படுகிறது. மேலும் $\tau'$ என்பது $\tau$ உடன் ஒப்பிடும் பொழுது மிக மிகச் சிறியதாகும். முழு ராடார் ஆழமான 11·6 மில்லி விநடிக்குக் குறைவான துடிப்பு நேரத்தைப் பயன் படுத்தும் பொழுது ஏற்படுகின்ற விளைவு படம் 24·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

படத்திலிருந்து உச்சக் கண குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு (peak instantaneous cross section) துடிப்பு நீளத்தைப் பொறுத்து 68 செ. மீட்டர் அலை நீளத்தில் எவ்வாறு குறைகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இவ் விளைவைப் பண்பேற்ற இழப்பு (modulation loss) என்றும், குறுகிய ஆன்டென்னுக் கற்றை ஏற்படுத்துகின்ற இத்தகைய விளைவைத் துளை இழப்பு (aperture loss) என்றும் கூறுகிறோம். நிலாவைப் பொறுத்த மட்டில் திறனின் பெரும் பகுதி நிலாப் பரப்பின் அருகில் உள்ள மண்டலங்களால் எதிரொளிக்கப் படுகிறது. எனவே 1m.sec நேரமுள்ள துடிப்புகளைப் பயன் படுத்தும் வகையில் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் குறைவு ஏற்படுவதில்லை. படம் 24·1, 50 செ.மீட்டர் அலை நீளத்திற்கோ அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அலை நீளங்களுக்கோதான் பொருந்தும்.




படம் 24·1.

ஏனெனில் அலை நீளம் குறையும் பொழுது அலைகளைச் சிதறடிக்கும் பண்புகளும் மாறுகின்றன. நிலா ஒரு முழுக் கோள வடிவத்திலும், நேர் குத்துப் படுகையில் (normal incidence) திறன் எதிரொளிப் பெண் (power reflection coefficient) $\rho_0$ ஐயும் பெற்றிருந்தால், அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு

$$S = \rho_0 \pi a^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படும். ஆரம் '$a$', அலை நீளம் $\lambda$ உடன் ஒப்பிடும் பொழுது மிகப் பெரிதாக இல்லாமல் இருந்தால் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $\frac{a}{\lambda}$ ஐப் பொறுத்திருக்கும். எதிரொளிப்பெண் $\rho_0$ என்பது பரப்பின் மின்னியல் மாறிலிகளைப் பொறுத்திருக்கும். $\rho_0 = |a|^2$ என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படும். இங்கு,

$$Q = \frac{1 - \sqrt{\epsilon/\epsilon_0}}{1 + \sqrt{\epsilon/\epsilon_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$\epsilon$ = மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (permittivity).

$\epsilon_0$ = வெற்றிடத்தின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (permittivity) ஆகும்.

$\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ என்பது ஒப்பு மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (relative dielectric constant).

$\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ என்பதன் மதிப்பு தாதுப் பொருள் அடங்கிய சில பாறைகளுக்கு அட்டவணை 1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 24·1

| தாது | மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி |
|---|---|
| Andesite | 6·51 |
| Olivine basalt cellular | 5·50 |
| Basalt | 8·89 |
| Olivine | 17·54 |
| Diabase | 10·8 |
| Rhyolitic pumice | 2·29 |
| Rhyolite | 4·00 |
| Basaltic scoria | 6·08 |
| Trachytic tuff | 5·32 |
| Quartz sand stone | 4·84 |

மேலே கொடுக்கப்பட்ட மதிப்புகள் மேலெழுந்தவாரியாகச் சில பாறைகளுக்கு மட்டும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. நிலாவின் பாறைகளில் காணப்படுகின்ற எல்லாத் தாதுக்களுக்கான மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலிகளின் சராசரி மதிப்பு 8·8 ஆகவும்,

பெரும்பாலான மதிப்புகளுக்கு அது 5-லிருந்து 7 வரையிலும் மாறு படுவதாகவும் உள்ளது.

நிலாப் பரப்பின் மின் கடத்துத் திறன் $s$-ன் (electrical conductivity) மதிப்புத் தெரியவில்லை. $s$-ன் மதிப்பு கணிசமான அளவு இருக்கும்பொழுது கோண அதிர்வெண் $\omega$ அதிகரிக்கும்பொழுது எதிரொளிப்பெண் $\rho_0$ குறையவேண்டும். இத்தகைய குறைவை நாம் எளிதில் கணக்கிட முடியாது. ஏனெனில் இது பூமியின் தனிமத்தில் கடத்துத் திறன் உலர்ந்த தன்மை (dryness) யால் பெரும்பாலும் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. அதாவது மின்னோட்டத்தின் பெரும் பகுதி தரையில் உள்ள நீர் மூலக் கூறுகள் வழியே நடைபெறுகிறது. நிலாவில் வளி மண்டலம் இல்லாததால் பரப்பு மிகவும் உலர்ந்த தன்மையுடையதாக இருக்கிறது. எனவே அதன் கடத்துத் திறனும் மிகக் குறைவாக இருக்கிறது. எனவே எதிரொளிப்புத் திறன் $\rho_0$ ஐக் கணக்கிடுவதற்குச் சமன்பாடு (4) ஐப் பயன்படுத்துவது ஏறக்குறைய பொருந்தும். நிலாப் பரப்பின் ஒப்பு மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி $\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = 5$ ஆனல் எதிரொளிப்பெண் 14% ஆகும்.

மேலே சொல்லப்பட்ட முறையில் நிலா ஒரு முழுக்கோள வடிவமாக இல்லாமல் ஓர் ஒழுங்கற்ற கோளமாக இருந்தால் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு

$$S = g\,\rho_0 \pi a^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$

என்ற சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகிறது. இங்கு $g$ என்பது திசைக் காரணி (directivity factor) எனப்படும். மூலத்தை நோக்கி அலைகளைச் சிதறடிக்கின்ற கோளத்தின் தன்மையை இந்தத் திசைக் காரணி குறிப்பிடுகின்றது. ஒரு வழவழப்பான உலோகக் கோளத்திற்கு ($\rho_0 = 1$) இந்த $g$-ன் மதிப்பும் 1 ஆகும். ஒரு வழவழப்பான மின் கடத்தாப் பொருள் கோளத்திற்கும் $g$-ன் மதிப்பு ஒன்று ஆகும். ஆனல் ஓர் உலோகக் கோளத்தில் எதிரொளிப்பு, திசையொப்புப் பண்பியலான (isotropic) முறையில் நடைபெறும். மின் கடத்தாப் பொருள் கோளத்தில் அவ்வாறு நடைபெறுவதில்லை.

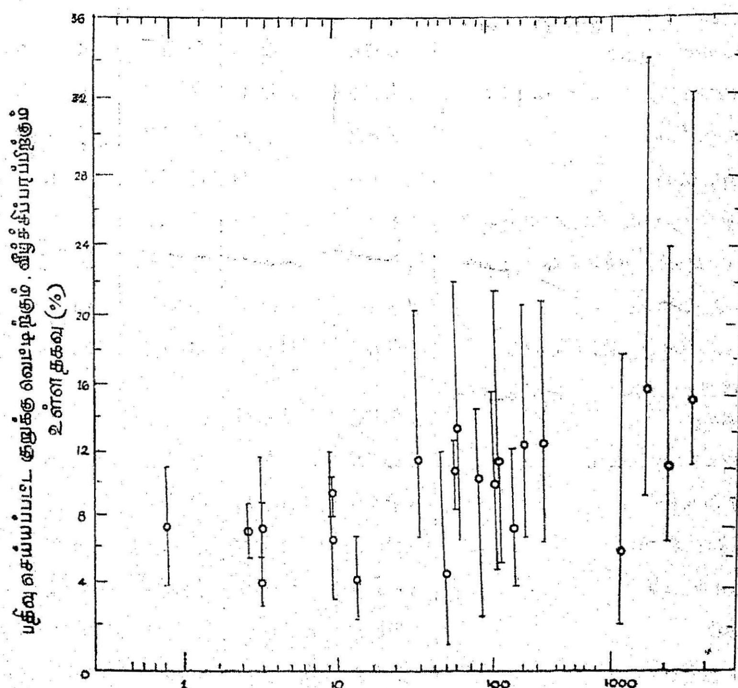
பல ஆராய்ச்சியாளர்கள் நிலாவின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைக் கணித்து அறிவித்துள்ளனர். அவர்கள் கொடுத்துள்ள மதிப்பு அட்டவணை 2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 24·2

| ஆராய்ச்சியாளர்கள் | ஆண்டு | அலை நீளம் (செ.மீட்டரில்) | $\frac{S}{\pi a^2}$ | தோராயப் பிழை (ab) |
|---|---|---|---|---|
| ஐலனும் அவரது கூட்டாளிகளும் | 1963 | 0 86 | 0·07 | ± 1·0 |
| கோப்ரின் | 1963 | 3·00 | 0·07 | ± 1·0 |
| மாரோவும் அவரது கூட்டாளிகளும் | 1963 | 3 6 | 0·07 | ± 1·5 |
| ஈவான்ஸ், பெட்டின்றில் | 1963 | 3·6 | 0 04 | ± 3·0 |
| கோப்ரின் | 1963 | 10 0 | 0 07 | ± 1·0 |
| ஹியூஜஸ் | 1963 | 10 0 | 0·05 | ± 3 0 |
| விக்டரும் கூட்டாளிகளும் | 1961 | 12 5 | 0·22 | ± 3·0 |
| ஈவானும், காக்ஃபோர்ஸ் | 1966 | 23·0 | 0·065 | ± ·5 |
| ஆரோன்ஸ் | 1959 | 33·5 | 0·09 | ± 3·0 |
| பெல்விசும், செப்மென் | 1960 | 61 0 | 0·05 | ± 3·0 |
| ஃபிரிக்கரும் கூட்டாளிகளும் | 1960 | 73·0 | 0·074 | ± 1·0 |
| லெடாபிராண்ட் | 1959 | 75·0 | 0·10 | ± 3·0 |
| டிரக்ஸ்லர் | 1958 | 100·0 | 0·07 | ± 4·0 |
| அரோன்ஸ் | 1959 | 149 0 | 0 07 | ± 3·0 |
| டிரக்ஸ்லர் | 1958 | 150 0 | 0·08 | ± 4·0 |
| வெப் | 1959 | 199 0 | 0·05 | ± 3·0 |
| ஈவான்ஸ் | 1957 | 250·0 | 0 10 | ± 3·0 |
| ஈவான்சும் கூட்டாளிகளும் | 1959 | 300·0 | 0·10 | ± 3·0 |
| ஈவான்ஸ், ஈங்கான்ஸ் | 1962 | 784 0 | 0·06 | ± 5·0 |
| டேவிசும், ரோல்வ்ஸ் | 1964 | 1130·0 | 0·17 | + 3·0 — 2·0 |
| டேவிசும், ரோல்வ்ஸ் | 1964 | 1560·0 | 0·12 | + 3·0 — 2·0 |
| டேவிசும், ரோல்வ்ஸ் | 1964 | 1920·0 | 0·16 | + 3·0 or— 2·0 |

**நிலாவின் ராடார் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும், அலை நீளங்களும்**

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு நிலாவின் உண்மையான பரப்பின் [$\pi a^2 = 9{\cdot}49 \times 10^2$ (மீட்டர்)$^{12}$] பின்னமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. அலையின் நீளம் 8·6 மி. மீட்டரிலிருந்து சுமார் 20 மீட்டர்கள் வரைப் பயன்படுத்தப்பட்டது. மேலே கண்ட அட்டவணையிலிருந்து நிலாவின் ராடார் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கும், அலை நீளத்திற்கும் ஒன்றும் தொடர்பில்லை என்று தெரிகின்றது. ரேடியோ வானியலைவிட ராடார் வானியலில் திறனை முழுமையாக அளப்பது மிகவும் கடினமாகும்.




படம் 24 உ.

ஆன்டென்னாவின் தொழிற்படு திறன், பரப்பியின் திறன் ஆகியவற்றின் நிலையற்ற தன்மை, எதிரொளிப்புத் திறனை அளப்பதில் ஏற்படும் பிழை ஆகியவையாகும். ஈவான்ஸ், ஹேக்ஃபோர்ஸ் ஆகிய இருவரும் 1966-ல் 23 செ. மீட்டர் நீளமுள்ள அலைகளைப் பயன்படுத்தி பெற்ற முடிவுகளே மிகவும் துல்லியமானவை என்று

நப்பப்படுகிறது. அட்டவணை 24·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள மதிப்புகளின் சராசரி மதிப்பு ஏறத்தாழ 0·07 உள்ளது. இதைப் பயன்படுத்தி $\frac{S}{(4\pi R^2)^2}$ -ன் மதிப்பு $1 \cdot 95 \times 10^{25}$ மீட்டர்$^2$ என்று அறியப்பட்டுள்ளது. இது ஆன்டென்ஞ இலாபம் ஒன்று உடைய பரப்பியிலிருந்து சைகை அனுப்பப்பட்டு ஓரலகுத் துளையினுல் பெறப்படும்பொழுது அச்சைகையின் பாதையில் ஏற்படுகின்ற ஆற்றல் இழப்பைக் குறிக்கின்றது. இந்த இழப்பு அலைநீளத்தைப் பொறுத்ததல்ல. இதன் மதிப்பு 247·2 *db*/மீட்டர்$^2$ ஆகும். *S*-ன் மதிப்புகளைக் கொண்டு $\rho$-ன் மதிப்பையோ கணக்கிட முடியும்.

நிலாவின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கும் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு படம் 24·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு உண்மையான பரப்பின் பின்னமாகவும் அலைநீளம் சென்டி மீட்டரிலும் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது.

### நிலாவின் இயக்கம்

பூமியிலிருந்து நிலாவின் சராசரி ஆரம் $3 \cdot 844 \times 10^8$ மீட்டர்கள் எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இதனுல் பூமியில் உள்ள ராடார் பரப்பியை விட்டுச் செல்லும் துடிப்பு 2·56 விஞடிகளுக்குப் பிறகு ஏற்பியை வந்து அடைகிறது எனத் தெரிகிறது. நிலாவின் சுற்றுப்பாதை ஒரு நீள்வட்ட வடிவத்தில் இருப்பதால், அதன் உண்மையான தூரம் சராசரித் தூரத்திலிருந்து $\pm$ 8% மாறுகிறது. இதனுல் எதிரொளிப்புத் திறன் $\pm$ 30% மாறுகிறது. அதாவது $\pm$ 1 *db* மாறுகிறது. இந்த மாற்றத்தை அவ்வளவு எளிதில் கண்டுபிடிக்க முடியவில்லை. மேலும் பூமியின் சுழற்சியும் 0·2 *db* பிழையை ஏற்படுத்துகிறது.

மாருக, நிலாவின் ராடார் தூரத்தைத் துல்லியமாக அளக்கலாம். ஒளியியல் முறைகளைக் கொண்டு நிலாவின் தூரம் பண்னெடுங்காலமாக அளக்கப்பட்டுவிட்டதால் இத்துறையில் ராடாரின் சிறந்த முன்னேற்றம் ஏற்படும் என்று எதிர்பார்ப்பதற்கில்லை. 1959-ல் யாப்ளி (Yaplee)யும், அவரது கூட்டாளிகளும். 50 அடி பரவளைய ஆன்டென்ஞவையும், 10 செ. மீட்டர் ராடாரையும் (2860 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி) கொண்டு 2 மெகா வாட்டுகள் உச்சத் திறனில், 2 மைக்ரோ விஞடி நீளமுள்ள துடிப்பைப் பயன்படுத்தி ஆராய்ந்தனர். அவர்கள் கீழ்க்கண்ட மாறிலிகளைப் பயன்படுத்தினர்.

ஒளியின் திசைவேகம் $c = 2{\cdot}997928 \times 10^8$ மீட்டர்/வினாடி

நிலாவின் ஆரம் $a = 1738 \pm 1$ கிலோ மீட்டர்கள்

பூமியின் ஆரம் $r = 6378{\cdot}17$ கிலோ மீட்டர்கள்

அவர்கள் ஆராய்ச்சியின்படி பூமியின் மையத்திற்தும், நிலாவின் மையத்திற்கும் இடையேயுள்ள தூரம் $\overline{D_0} = 384{,}400{\cdot}2 \pm 1{\cdot}1$ கி. மீட்டர் ஆகும். ஒளியியல் முறையில் இதற்குக் கிடைத்த மதிப்பு $384{,}400 \pm 4{\cdot}7$ கிலோ மீட்டர்களாகும். $\overline{D_0}$-ல் ஓரளவு ஐயப்பாடு (uncertainty) உள்ளது. இதற்குக் காரணம் நிலாவின் ஆரத்திலும் ஓரளவு ஐயப்பாடு இருப்பதேயாகும். இந்த ஐயப் பாட்டினை பூமியில் உள்ள ராடார்களைக் கொண்டு நீக்க முடியாது.

நிலா நீள் வட்டப் பாதையில் செல்வதால் அதன் திசை வேகத்தின் ஒரு கூறு ($v_1$) பூமியின் மையத்தை நோக்கி இருக்கும். இதன் பெரும் மதிப்பு $\pm 80$ மீட்டர்/வினாடியாகும். மேலும், உள்ள ஓர் ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு, பூமி தன் அச்சைப் பற்றிச் சுழலும் பொழுது ($v_2$) என்ற ஒரு திசைக் கூறு இருக்கும். நிலா உதயமாகும் பொழுது அல்லது மறையும் பொழுது $v_2$ என்ற திசைக் கூறின் பெருமம் $\pm 500$ மீட்டர்/வினாடி ஆகும். இந்த $v_2$ என்ற திசை வேகக் கூறினால், பூமியின் எந்த ஓர் அட்ச ரேகையில் உள்ள நிலையத்திலும், டாப்ளர் பெயர்ச்சி $d_2$ ஐ நேரக் கோணத்தின் அடிப்படையில் கணக்கிடலாம். நிலாவின் சரிவுக் கோணத்தில் (declination) ஒரு மாத காலத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் டாப்ளர் பெயர்ச்சி $d_2$-லும் மாற்றத்தை ஏற்படுத்துகின்றது இந்த மாற்றங்கள் 10%-க்கும் குறைவாகும். இந்தப் பெயர்ச்சி $d_2$ ஐ $v_1$ என்ற கூறினால் பெறப்படுகின்ற பெயர்ச்சி $d_1$-உடன் குறி வழி (sign) கூட்ட வேண்டும்.

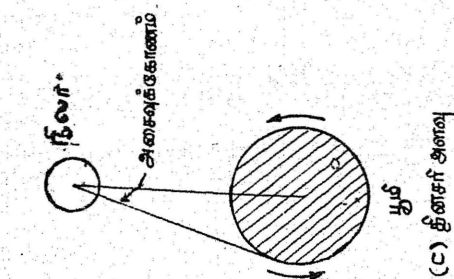
100 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-ல்

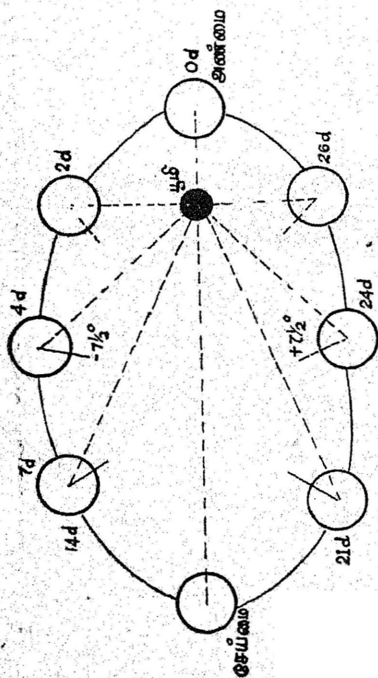
$$d_1 = 5{\cdot}644 \times 10^3 \frac{(d\pi)}{\pi^2} \text{ சுற்று/வினாடி } \dots \dots \quad (6)$$

என்றாகிறது.

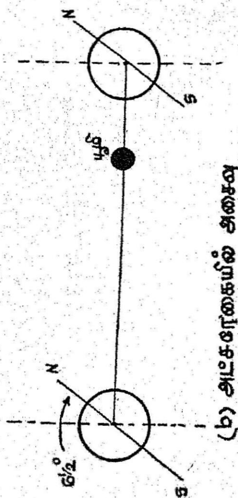
இங்கு ($d\pi$) என்பது அரை நாளில் (half day) வில்லின் வினாடி களில் கிடைமட்ட இடமாறு தோற்றத்தில் ஏற்படும் சராசரி வேறு பாடுகளாகும். இச் சமன்பாடு 100 மெகா சுற்றுகளில்/வினாடி அடுக்கத்தில், $\pm 10$ சுற்றுகள்/வினாடி துல்லியமாகும். இதை விடத் துல்லியமாக அளக்க வேண்டுமானால் கம்ப்யூட்டர்களையே (computor) பயன்படுத்த வேண்டும்.

நிலாவின் மையம் பூமியிலிருந்து நோக்கும் பொழுது அசைவதைப் போல் தோன்றுகிறது இதற்கு மூன்று காரணங்கள் இருக்கின்றன. (1) தீர்க்க ரேகை அசைவு (libration in longitude): நிலா தனது அச்சைப்பற்றி நிலையான கோணத் திசை வேகத்தில் சுழல்வதாலும், ஒரு நீள் வட்டப் பாதையில் செல்வதாலும் இந்த அசைவு ஏற்படுகிறது. இதனால் நிலாவின் ஒரே குறிப்பிட்ட பரப்பு எப்பொழுதும் பூமியை நோக்கி இருப்பதில்லை. இதனால் ஏற்படுகின்ற அசைவு வீதம் $k$ சேய்மைப் புள்ளியிலோ



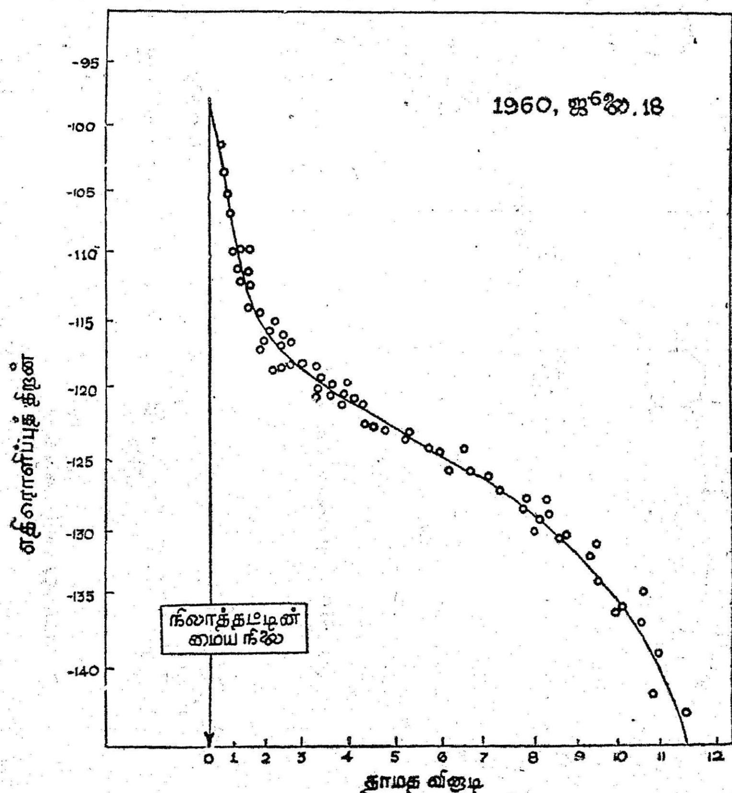
(a) தீர்க்க ரேகையில் அசைவு



(b) அட்சரேகையில் அசைவு

படம் 24·8. நிலாவின் அசைவுக்கான மூன்று முக்ய காரணங்கள்

(apogee), அல்லது அண்மைப் புள்ளியிலோ (perigee) பெரும மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும். இதன் மதிப்பு ஏறக்குறைய $4\times10^{-7}$ ரேடியன்/விநாடி ஆகும். இது சேய்மைப் புள்ளியில் நேர்க் குறியுடையதாகவும், அண்மைப் புள்ளியில் எதிர்க் குறியுடையதாகவும் இருக்கின்றது. நிலாவின் சுழற்சி அச்சு அதன் சுற்றுப் பாதையின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இல்லாமல் $6\frac{1}{2}^{\circ}$ கோணத்தில் சாய்ந்திருப்பதால் அட்ச ரேகை அசைவு (libration in latitude) ஏற்படுகிறது. இந்த அசைவு ஒரு மீன் வழி மாதத்தில் (sidereal month) (ஒரு மீன் வழி மாதம் = 27·322 சராசரி சூரிய நாட்கள்) ஒரு தடவை நிகழ்கிறது. அதனுடைய வீதம் $l^{B}$, $3\times10^{-7}$ ரேடியன்/விநாடி பெரும மதிப்பை, நிலா தன் சுற்றுப்பாதைக் கணுவைக் (node) கடக்கும் பொழுது ஏற்படுத்துகிறது. இறுதியாக நிலாவிற்குத் தினசரி அசைவும் (diurnal libration) உண்டு. பூமியில் உள்ள ஓர்




படம் 24·4.

ஆராய்ச்சியாளர் நிலாவின் வட்ட மையத்திற்கும், நிலாவின் உண்மையான மையத்திற்கும் இடையே ஓர் இடப் பெயர்ச்சியைப் பூமியின் சுழற்சியினால் காண்கிறார். இந்தக் கூறின் வீதம் ($l_D$) $12 \cos \varphi' \times 10^{-7}$ ரேடியன்/வினாடி பெரும மதிப்பு, நிலாவின் சரிவுக் கோணம் $\delta \simeq 0$ டிகிரியில். $\varphi'$ அட்ச ரேகையில் உள்ள ஆராய்ச்சியாளர்க்குக் கிடைக்கிறது. இவை படம் 24·3 (a), (b), (c)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

எதிரொளிப்புத் திறனுக்கும், தாமத நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு படம் 24·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

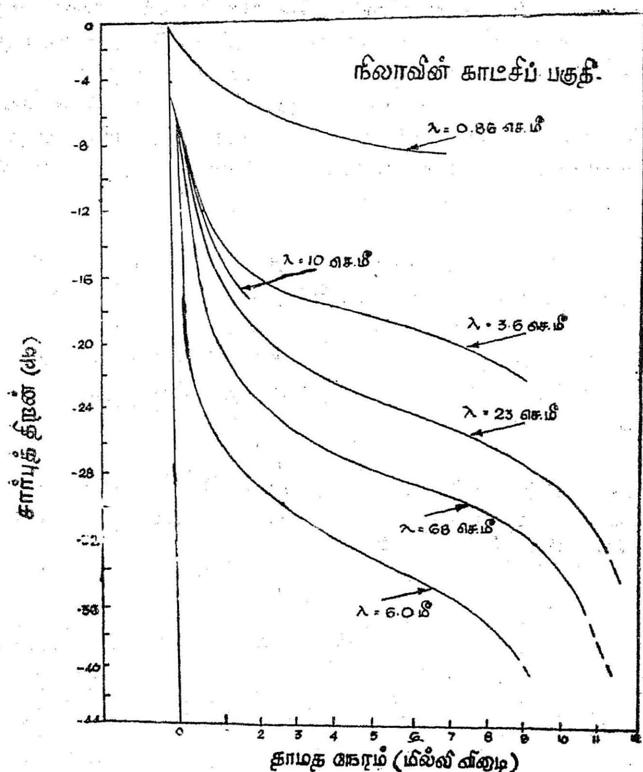
படம் 24·4 ஆனது 68 செ. மீட்டர் அலை நீளம் கொண்ட ராடார், 65 மைக்ரோ வினாடி நீளமுள்ள துடிப்பை அனுப்பிய பொழுது வரையப்பட்டது.

குறைந்த நேரத் துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தியும் சந்திரன் ஆராயப்பட்டது. துடிப்புகளின் நீளமும், அவைகளின் அலை நீளங்களும் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 24·3

| அலை நீளம் (செ. மீ.) | துடிப்பு நீளம் | இடைவெளி | படுகோணம் அல்லது எதிரொளிப்புக் கோணம் |
|---|---|---|---|
| 0·86 | 2 sec | துடிப்புக்கு ஒரு தடவை | 8° — 60° |
| 3·6 | 13 μ sec | 20 μ sec | 5° — 80° |
| 10·0 | 5 μ sec | 20 μ sec | 4·5° — 14° |
| 23·0 | 10 μ sec | 10 μ sec | 2 5° — 90° |
| 68·0 | 12 μ sec | 10 μ sec | 2·5° — 90° |
| 600·0 | 100 μ sec | தெரியவில்லை | 7·5° — 90° |

மேலே கண்ட அளவீடுகளிலிருந்து ஒப்பு திறனுக்கும், தாமத நேரத்திற்கும் வரைபடங்கள் வரையப்பட்டன. இவற்றின் அமைப்பு படம் 24·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

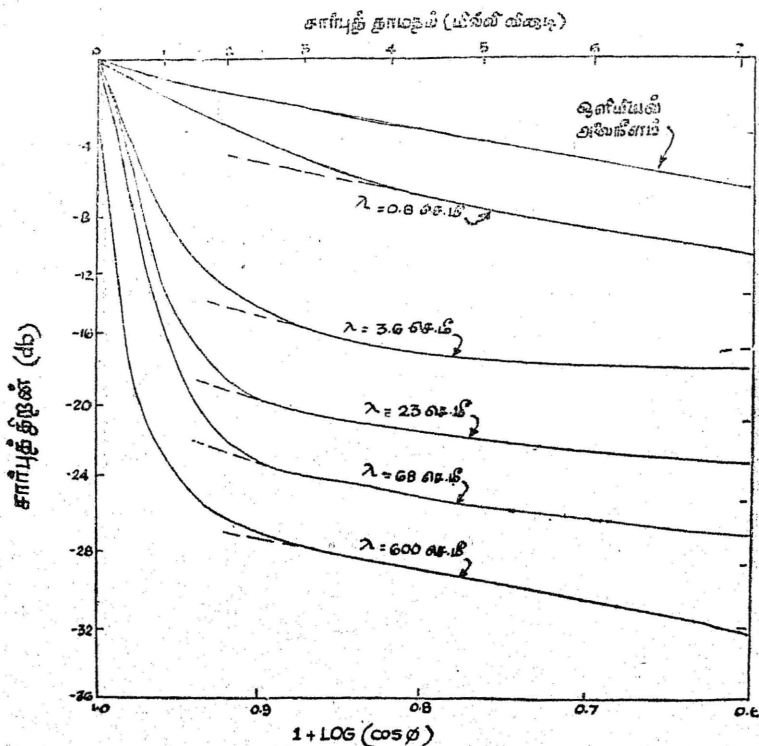



படம் 24·5.

ஒரு மீட்டர் அல்லது அதற்கு அதிகமான அலை நீளங்களில் நமது கண் பார்வைக்கு நேரான திசையில் உள்ள வட்டப் பகுதியின் மையத்திலிருந்து நிலா அதிகமான சிதறலைத் தோற்றுவிக்கின்றது. இதிலிருந்து இப்பரப்பு வழவழப்பாக உள்ளது எனத் தெரிகிறது. அலை நீளம் குறையும்பொழுது நிலாவின் மற்ற வட்டப் பகுதிகளிலிருந்து மேலும் மேலும் எதிரொளிப்பு ஆற்றல் பூமியை நோக்கி வருகின்றது. ஒரு செ. மீட்டர் அலை நீளத்தில் வட்டப் பகுதி முழுவதும் ஒரே அளவு பிரகாசத்துடன் காணப்படுகின்றது. இதிலிருந்து நிலாப் பரப்பில், அலை நீளத்திற்கொப்பான பருமனையுடைய பொருட்கள் அதிகம் இருப்பது தெரிகிறது.

அட்டவணை 24·3 ஐப் பயன்படுத்தி ஒப்புத் திறனுக்கும், log (காஸ் $\phi$)-க்கும் வரைபடங்கள் வரையப்பட்டன. அவற்றின்

அமைப்புப் படம் 24·6-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. ஒவ்வோர் அலை நீளத்திலும் அடர் குறை எதிரொளிப்பு இருப்பது அறியப்பட்டது. இந்த அடர் குறைப் பகுதி ஓர் எளிய விதியைப் பின்பற்றுகிறது, 0·86 செ. மீட்டர், 3 6 செ. மீட்டர் அலை நீளங்களில் இவ்விதி ஒரு காஸ் $\phi$ விதியையும், 23 செ. மீட்டர், 68 செ. மீட்டர் அலை நீளங்களில் காஸ் $^{3/2}\phi$ விதியையும் பின்பற்றுகிறது.




படம் 24·6.

நிலாவை 68 செ. மீட்டர் அலை நீளத்தில் ஆராய்ந்தபொழுது நிலாப் பரப்பின் சராசரிச் சரிவு 5 டிகிரியிலிருந்து 15 டிகிரி வரை இருப்பது தெரிந்தது.

நிலாவின் சராசரிச் சரிவு

$$\bar{\phi} = \frac{\int\limits_{\phi} \phi \cdot f(\phi) \text{ சைன் } \phi \cdot d\phi}{\int\limits_{\phi} f(\phi) \cdot \text{ சைன் } \phi \cdot d\phi}$$

$$= \frac{\int\limits_{\phi} \phi \, \bar{P}(\phi) \text{ காஸ் } \phi \text{ சைன் } \phi \, d\phi}{\int\limits_{\phi} \bar{P}(\phi) \text{ காஸ் } \phi \text{ சைன் } \phi \, d\phi} \quad \ldots \quad (7)$$

இங்கு $\bar{P}(\phi)$ என்பது படம் 24·6-ல் முழுக் கோட்டிற்கும் எடுக்கப்பட்ட சராசரி ஆகும். எல்லாத் தளங்களுக்கும் உரிய சராசரிச் சரிவு ஒரு தளத்திற்குரிய சரிவைப்போல் $\sqrt{\pi 2}$ மடங்காகும். சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலச் (root mean square) சரிவு ஒரு தளத்திற்குள்ள சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலத்தைப்போல் $\sqrt{2}$ மடங்காகும்.

இந்தப் பகுதியில் நிலாவைப் பற்றிக் கூறப்பட்டுள்ள முடிவுகள் பெரும்பாலும் தசம மீட்டர் (decimeter) அலை நீளங்களில் இயங்குகின்ற ராடார்களைக் கொண்டு பெறப்பட்டவை. செங்குத்துப் படுகையில், ஏறத்தாழ 60 விழுக்காடு எதிரொளிப்பாற்றல், நிலாவில் எங்கெங்கு அடர்த்தி, ஆழத்துடன் விரைவாக அதிகரிக்கின்றதோ, அந்தந்த இடங்களில் இருந்து, பரப்பின் உட்பகுதிகளினால் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. இந்தப் பரப்பின் புறப்பகுதி அடுக்கில் (upper most layer) மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 1·8 ஆகவோ அல்லது அதற்கு அதிகமாகவோ உள்ளது. இதிலிருந்து நிலாவின் புறப்பரப்பு பெரும்பாலும் 70-லிருந்து 90 விழுக்காடு வரை துளைத்தன்மை (porosity) யுடையதாக உள்ளது என்பது தெரிகிறது. இத் துளைத்தன்மை, பரப்பில் உள்ள பகுப் பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்துள்ளது.

நிலாவின் பரப்பினுள் ஒரேயொரு எதிரொளிப்பு அடுக்கு இருப்பதாகக் கொண்டால் (இரண்டு அடுக்கு அமைப்பு) அடியில் உள்ள அடுக்கின் (base layer) மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 4·5-லிருந்து 5 வரை இருக்கவேண்டும். அங்கு, பொருள் ஒரு திடப்பொருளாக இல்லாவிட்டாலும். ஒரு முழுமையான திண்மத்தில் இருக்கவேண்டும். மேலே உள்ள அடுக்கின் ஆழம் ஏறத்தாழ

12 செ. மீட்டரை விட அதிகமாகவும், ஓர் ஒழுங்கற்ற முறையிலும் இருக்கவேண்டும் என்று கருதப்பட்டது.

இரண்டு அடுக்குகளும் ஏறக்குறைய வழவழப்பாகவே உள்ளன. இவைகளின் சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலச்சரிவு $\frac{1}{10}$ ஆக உள்ளது. கீழ் அடுக்கு, மேல் அடுக்கைக் காட்டிலும் கடினமாக இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. 68 செ. மீ. அலை நீளத்தில் 20 விழுக்காடு ஆற்றல் விரவலான கூறில் (diffuse component) இருப்பதாகத் தெரிகிறது. [எதிரொளிப்பாற்றல் விரவலான கூறு, நுண்ணிய துகள் கூறு (quasi - specular component) என்று இரு பகுதிகளாக உள்ளது என்பது குறிப்பிடத் தக்கது.] எனவே கீழ் அடுக்கின் பெரும் பகுதி அலைநீளத்திற்குச் சமமான பருமனுடைய பொருட்களால் மூடப்பட்டு இருக்க வேண்டும் என்பது தெரிகிறது. இங்கே கூறப்பட்டுள்ளபடி நிலாப் பரப்பின் இரண்டடுக்கு மாதிரி (double layer model) ஏறக்குறைய ஒரு தோராயக் கணிப்பே ஆகும். மேற் பரப்பிலிருந்து உள்ளே செல்லச் செல்ல அடர்த்தி, தொடர்ச்சியாக அதிகரித்துத் கொண்டே செல்ல வேண்டும். ஏனெனில் 10-லிருந்து 30 விழுக்காடு வரை நுண் துளையுள்ள பருப் பொருள் தன்னுடைய எடைக்குச் சமமான பொருளைத் தாங்கி நிற்றல் இயலாது. அப்படி யானல் பருப் பொருளின் உட்புறத்திலிருந்து நிகழ்கின்ற எதி ரொளிப்பு, ஓர் அலை நீள ஆழத்தில் அடர்த்தி எவ்வாறு மாறுகிறது என்பதை வெகுவாகப் பொறுத்திருக்கும். இவ்வாறு மிகக் குறுகிய அலைகள் மேற்புற அடுக்குகளிலிருந்தும். நீண்ட அலைகள் உட்புற அடுக்குகளிலிருந்தும் எதிரொளிக்க வேண்டும். டாப்ளர் படம் (Doppler map), கட்டுபடுத்தப்பட்ட தள விளைவு (controlled polarisation) ஆகியவற்றைப் பல அலைநீளங்களைப் பயன்படுத்தி அடிப்புற அடுக்குகளை மேலும் ஆராயலாம். பூமியில் உள்ள கருவிகளால் இவற்றை ஆராய இயலாது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Principles of Optics — *M. Born and Wolf*

2. Physics and Astronomy of the Moon — *A. Dollfus*

3. Radar Exploration of Venus — *W. K. R. Stevens Victor and S. W. Golomb*

# 25. சூரியனைப் பற்றிய ராடார் ஆராய்ச்சிகள்

**(Radar Studies of the Sun)**

அண்மையில் சூரியனையும் அதன் ஒளி வட்டத்தையும் (corona) ஆராய்வதற்கு பல புதிய முறைகள் உருவாக்கப்பட்டன. இவற்றுள் சூரியனின் கொந்தளிப்புச் சம்பந்தப்பட்ட நிகழ்ச்சிகளை ஆராய அதிர்வெண் ரேடியோ மானித் தொழில் நுட்ப முறைகள் (frequency radio meter techniques) மிகவும் உகந்தவை. மாருக, ராடார் ஆராய்ச்சி முறைகள் மிகவும் நவீன காலத்தவை; சிக்கல் நிறைந்தவை. அவை, அதிர்வெண் ரேடியோ மானித் தொழில் முறையைப்போல் அவ்வளவு சிறந்த விளைவுகளைக் கொடுப்பதாகக் கூற முடியாது. எனினும் சூரியனைப் பற்றிய ராடார் ஆராய்ச்சிகள், ஒளியியல், ரேடியோ மானி முறைகளால் பெறப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளைத் தொடர்ந்து நடத்தப் பயன்படும்.

சூரியனைப் பற்றி ஆராய்வதற்கு அமைக்கப்பட்ட ராடார்களின் அதிர்வெண் பகுதிகள் மிகவும் குறுகலானவை. மிக உயர்ந்த அதிர்வெண் ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பித் திறனுக்கும் ஆன்டென்னுப் பருமனுக்கும் ஏறத்தாழ 50 மெகா சுற்றுகளுக்கும் குறைவாகும். இதைவிட அதிக அதிர்வெண்களைப் பயனபடுத்தினல் அவை சூரிய ஒளிவட்டத்தை ஆழமாக ஊடுருவிச் சென்று அங்குள்ள நிலைமையால் உட்கவர்தல் காரணமாகப் பெரும்பகுதி இழக்கப்பட்டு விடும் என்று எதிர்பார்க்கப் படுகின்றது. ஆனல் இது சோதனைகள் மூலம் இன்னும் நிரூபிக்கப் படவில்லை. சூரிய எதிரொளிப்புகள் கோள்களின் எதிரொளிப்புகளிலிருந்து மாறுபட்டவை. ஏனெனில் அவற்றின் வீச்சுகள் (amplitudes) நீண்டகால அடிப்படையில் கோள்களின் வீச்சைவிட அதிக அளவு மாறுபடுகின்றது. சூரிய எதிரொளிப்புகளின் செறிவும், கோள் எதிரொளிப்புகளின் செறிவைப்போல் சுமார் இரண்டு மடங்கு மாறுபடுகிறது. இம்மாற்றம் சூரியப் புள்ளி பெருமத்தின் பொழுது மேலும் அதிகமாக இருக்கும்.

நிலவு, வெள்ளி ஆகியவற்றில் எதிரொளிப்புகள் கண்ணுக்குப் புலனாகின்ற வட்டத்தின் மையப் பகுதியிலிருந்து நிகழ்கின்றன. இவற்றின் டாப்ளர் விளைவு, பரப்பின் மிருதுவற்ற தன்மையையும், பொருளின் சுழற்சி நேரத்தையும் பொறுத்திருக்கும். ஆனால் சூரியனில் அவ்வாறில்லை. சூரிய எதிரொளிப்புகளில் காணப்படும் டாப்ளர் விளைவு மிக அதிகமாக உள்ளது. இவற்றைச் சூரியனின் சுழற்சி அடிப்படையில் விளக்க முடியாது. இவை சூரியனின் ஒளிவட்டத்தில் எதிரொளிப்பு மையங்கள் நகர்வதால் உண்டாக வேண்டும். சூரியனின் எதிரொளிப்பாற்றலின் கோணப் பங்கீடு (angular distribution) சூரியத் தகட்டின் பருமனோடு ஒப்பிடும் பொழுது மிகவும் அதிகமாகும்.

சூரியனின் எதிரொளிப்பு ஆற்றலை அறிவதற்கு, கெர் (Kerr) 1952-ல் முயன்றார். அவர் சூரிய ஒளி வட்டத்தினுள் அலைகள் புகுவதையும் அவை உட்கவரப்படுவதையும் கோட்பாட்டு முறையில் ஆராய்ந்தார். அண்ட ரேடியோ இரைச்சல் (galactic radio noise), சூரிய ரேடியோ இரைச்சல் (solar radio noise) ஆகியவை அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து மாறக்கூடிய வீதத்தைக் கணக்கில் கொண்டு இவ்வலைகளின் பெரும அதிர்வெண் 25-லிருந்து 30 மெகா சுற்றுக்குள் இருக்கவேண்டுமெனக் கணக்கிட்டார். பாசி (Powsey), பிரேஸ்வெல் (Bracewell) ஆகியோர் 1955-லும், பாஸ் (Bass), பிராடு (Braude) ஆகியோர் 1957-லும் இதனை ஆராய்ந்தனர். கெர் 1959-ல் மீண்டும் ஆராய்ந்தார். இவர்களனைவரும் 1952-ம் ஆண்டு கிடைத்த முடிவுக்கே வந்தனர். சூரிய எதிரொளிப்பின் டாப்ளர் அகலத்தை முன்கூட்டி அறிவிக்க முடியவில்லை.

சூரியனைப் பற்றிய ராடார் காட்சிப் பதிவுகள் ஸ்டேன்ஃபோர்டு பல்கலைக் கழகத்தில் 1960 ஆம் ஆண்டு எடுக்கப்பட்டது. இச்சோதனை 25·6 மெகா சுற்றுகளில் (11·7 மீட்டர் அலை நீளம்) செய்யப்பட்டது. இதில் பயன்படுத்தப்பட்ட ராடார், கெர் கூறிய அமைப்பை ஒத்திருந்தது. ஒரு மூன்றாண்டுக் காலத்தில் சூரிய ஒளி வட்டத்தைப் பற்றி 600 தனித்தனி ராடார் காட்சிப் பதிவுகள் எடுக்கப்பட்டன. சூரிய ஒளி வட்டத்தைப் பற்றிப் பல புதிய செய்திகள் கிடைத்தன.

1959-ல் ஸ்டார்ஃபோர்டு பல்கலைக் கழகத்தில் நடத்தப்பட்ட சோதனைகள், *MIT*-ல் நடந்த சோதனைகள் ஆகியவற்றைத் தவிர வேறு சோதனைகள் நடைபெறவில்லை.

ஒரு ராடார் சோதனையில் எதிரொளிக்கப்படும் திறன்

$$P_r = P_t \frac{G_t \cdot A_r S}{4\pi R^2 \cdot 4\pi R^2} \cdot p \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் கிடைக்கிறது என்பதைப் பார்த்தோம்.

இங்கு,

$P_r$ = ஏற்கப்பட்ட திறன்,

$S$ = இலக்கின் குறுக்குப் பரப்பு,

$R$ = இலக்கின் தூரம்.

$P_t$ = பரப்பப்பட்ட திறன்,

$G_t$ = பரப்பி ஆன்டென்னாவின் இலாபம்,

$A_r$ = ஏற்பி ஆன்டென்னாவின் இடையிடம்,

$p$ = எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் பின்னம்.

மேலே கண்டவற்றுள் $S$ ஐத் தவிர மற்றவை ராடார் சாரா மாறிகள் (radar parameters) எனப்படும். $P$ என்பது ஃபாரடே சுழற்சியினால் உண்டாகிறது. இது 30 மெகா சுற்றுகளில் வளி மண்டலத்திற்கு மட்டும் 10-லிருந்து 100 சுழற்சிகள் வரை அமைகிறது. சூரியன் ஒரு பெரிய பரவலான இலக்காதலால் சுமார் ஒரு நிமிட நேரத்தில் அறியப்படும் எதிரொளிப்பு பல தளவிளைவுத் திசைகளிலும் இருக்கும். இதன் காரணமாக உயர் அதிர்வெண்கள் (*HF*). வெகு உயர் அதிர்வெண்கள் (*VHF*) ஆகியவற்றில் செய்யப்படுகின்ற ராடார் சோதனைகளில் நேர்கோட்டுத் தளவிளைவு ஆன்டென்னாக்களைப் பயன்படுத்தும்பொழுது $p = \frac{1}{2}$ என்று போடவேண்டும்.

சூரியனின் தூரம் ஜனவரி 3-ம் தேதி $1 \cdot 47 \times 10^{11}$ மீட்டர்களிலிருந்து ஜூலை 5-ம் தேதி $1 \cdot 52 \times 10^{11}$ மீட்டர்களுக்கு மாறுகிறது. மற்றவை யாவும் மாறாதிருக்கும்பொழுது இத் தூரத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் எதிரொளிக்கப்படும் திறனில் 0·6 *db* மாற்றத்தை உண்டாக்குகிறது.

பெரும்பாலான கோள வடிவப் பொருட்களுக்கு ராடார் பிற்சிதறல் குறுக்குப் பரப் (back scattering cross section) பின்மிருதுவற்ற தன்மையுடன் அதிகரிக்கிறது. கிரெய்க், (Grieg), மெட்ஜர் (Metzger), வேயர் (Waer) ஆகியோர் 1948-ல் பல்வேறு

கோளப் பரப்புகளின் பிற்சிதறல் குறுக்குப் பரப்புகளைக் கணக்கிட்டனர். இக்கோளப் பரப்புகள் எதிரொளிப்பின் லாம்பர்ட் கொசைன் விதிக்குக் (Lambert cosine law of reflection) கட்டுப்பட்டிருந்தன. அத்தகைய கோளத்தின் மேற்பரப்பு மிருது வற்றதாக இருக்கும்பொழுது அதன் பிற்சிதறல் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு அதே அளவு பருமனுள்ள கோளத்தின் பிற்சிதறல் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைவிட 2·7 மடங்காகும் எனக் கணக்கிடப் பட்டது. மிருதுவற்ற கோளம் அதன்மேல் விழும் ஆற்றலை திசையொப்புப் பண்பிலான முறையில் சிதறடிக்காமல் ராடார் அமைந்துள்ள திசையிலேயே மீண்டும் அதிகமாகச் சிதறடிப்பதே இதற்குக் காரணமாகு. 25-லிருந்து 40 மெகா சுற்றுகளுக்கான அதிர்வெண்களில் சூரியனின் ஒளிவட்டம் ஏறக்குறைய ஒரு மிருதுவற்ற ராடார் பரப்பாகவே இயங்குகின்றது. இப்பரப்பின் அளவு காலத்துடன் மாறுகிறது. தன்மீது விழும் ஆற்றலில் ஒரு பாதிக்கும் அதிகமான அளவை உட்கவர்ந்து விடுகின்றது. இவ்வாறு சூரியன் அதன் வீழ்ச்சிப் பரப்பிற்குச் (porjected area) சமமான மொத்தக் குறுக்குப் பரப்பு $S$ ஐக் காட்டுவதாகக் கொள்ளலாம். சூழ்நிலை இரைச்சல், குறுக்கு வெட்டு ஆகியவை கொடுக்கப்பட்டிருந்தால், சமன்பாடு (1) ஐ உபயோகித்து, சூரியனை ஆராய்வதற்குத் தேவையான ராடார் முறையின் உருவ அமைப்பைத் தோராயமாகக் கணக்கிடலாம். சைகைத் தொகுனியாக்கம் செய்யாமல் சூரியனின் எதிரொளிப்பை ஆராயவேண்டுமெனில் சைகை-இரைச்சல் விகிதம் (signal to noise ratio) 1.0 $db$ தேவைப்படுகிறது. வெப்பநிலை $T$, சூரிய இரைச்சல் அண்டவெளி இரைச்சல் ஆகியவற்றின் பங்கீடுகளைப் பொறுத்துள்ளது. 30 மெகா சுற்றுகளையுடைய அகன்ற கட்டை ஆன்டென்னுவிற்கு $T$-ன் மதிப்பு $15{,}000°K$ என எடுத்துக் கொள்ளலாம். இம் மதிப்பு சூரியன் அமைதி நிலையில் இருக்கும் பொழுது பொருந்தும். 50 $Kc$/வினடி பட்டை அகலத்தில் ஏற்கும் பொழுது ஏற்பியல், காஸ்மிக் இரைச்சல் $10^{-14}$ வாட்டு ஆகும். சூரியனின் சராசரி குறுக்கு வெட்டு $S$ என்பது ஒளிப்புரை (photo sphere) பரப்பிற்கு ஏறக்குறைய சமம். எனவே சமன்பாடு (1)-ல் $P_t\, G_t\, G_r$-ன் பெருக்கற் பலன் $13 \times 10^{15}$ வாட்டுகளாக இருக்கின்றது. இங்கு $A_t = \dfrac{G_t\, \lambda^2}{4\, \pi^2}$ ஆகும். பரப்பி, ஏற்பி ஆவற்றின் ஆன்டென்னுக்களின் இடையிட வினைத்திறன் (aperture efficiency) 90% ஆக இருந்தால் $P_t\, A_t\, A_r > 10^{14}$ கிலோ வாட் (மீட்டர்)$^4$ எனத் தெளிவாகச் சொல்லலாம். சுருக்கமாக, $A_t$, $A_r$ இடையிடங்கள் கொடுக்கப்பட்டிருந்தால் (10 ஏக்கர்கள்) தேவையான

திறன் $6 \times 10^4$ கிலோ வாட்டுகளாக இருக்கும். பொதுவாகச் சுற்றுப்புற வெப்பநிலை கற்றை அகலத்தைப் பொறுத்தும் அதிர் வெண்ணைப் பொறுத்தும் மாறுபடும் என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. எனவே சில வகைகளில் சமன்பாடு (2) மேலும் சுருக்கப்பட்டு எளிதாக்கப்படும். இருந்தபோதிலும், சூரிய ராடார் காட்சிப் பதிவுகளில், ஆன்டென்னுக் கற்றை அகலத்தின் பரிமாணம், ரேடியோ சூரியனின் கோணப் பகுதிக்கு ஒப்பிடத்தக்க வகையி லிருந்தால் சூரியனே உற்பத்தி செய்யும் இரைச்சல் பங்கு மிகவும் குறிப்பிடத் தக்க அளவு இருக்கின்றது. *MIT* சூரிய ராடார் சூரியனைப் பற்றிக் கணிசமான அளவு செய்திகளைக் கொடுத்திருக் கின்றது.

**சூரியன், அண்டங்கள் ஆகியவற்றில் தோன்றும் இரைச்சல்**

சூரியன், அண்டங்கள் ஆகியவற்றில் தோன்றும் இரைச்சலே சூரியனைப் பற்றி ராடார் ஆராய்ச்சிகள் செய்வதில் பெருந் தடையாக இருக்கின்றது. இவ் விரைச்சல் 10-100 மெகா சுற்றுகளில் அதிகமாக இருக்கின்றது. சூரியன், அண்டங்கள் ஆகியவற்றி லிருந்து வரும் இரைச்சலில் சிறுபகுதி காலத்தைப் பொறுத்து வேறு படுகின்றது; அத்துடன் ரேடியோ அதிர்வெண், ஏற்கும் ஆன் டென்னுவின் கற்றை அகலம் ஆகியவற்றையும் பொறுத்துள்ளது. சூரியனின் இரைச்சல், அடிப்படை அளவில் வெப்பத்தினால் தோற்று விக்கப்படுகின்றது. இதைத்தான் அமைதிச் சூரியனின் இரைச்சல் (quiet sun noise) என அழைக்கிறோம். அமைதிச் சூரியனின் தோற்றப் பொலிவு வெப்பநிலை சுமார் 200 மெகா சுற்றுகளில் உச்ச மதிப்பை அடைகின்றது. இதை 1964-ல் ஸ்மெர்டு (Smerd) என்பவர் கூறினார். சுமார் 200 மெகா சுற்றுகளுக்கு மேல் இப் பொலிவு வெப்பநிலை மெதுவாகக் குறைகின்றது. பொலிவு வெப்ப நிலை $T_b$ என்பது கதிர் வீச்சுப் பாய அடர்த்தி (flux densities) அல்லது ஓரலகுப் பட்டை அகலப் பொலிவு $B$ உடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. இதை ராலே சமன்பாடு,

$$B = 2KT_b \lambda^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

மூலம் குறிப்பிடலாம். எனினும், இப் பாயத்தில் அரைப் பங்குதான் ஒரு தளவிளைவில் ஏற்கப்படுகிறது. இங்கு $K$ என்பது போல்ட்ஸ் மென் மாறிலியாகும். ($K = 1 \cdot 38 \times 10^{-23}$); $\lambda$ என்பது ரேடியோ அலைநீளம்.

ஒளி வட்டத்தின் அடர்த்திப் பங்கீடு எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலை ஆகியவற்றைக் கற்பிதம் செய்து கொண்டு சூரியத் தட்டின்

குறுக்குக் பொலிவு வெப்பநிலையைக் கணக்கிடலாம். ஒளி வட்டத்தில், குறிப்பிட்ட ஒரு கற்றைப் பாதைக்குப் பொலிவு வெப்பநிலை,

$$T_b = \int_0^{2\tau_a} Te^{-\tau}\, d\tau \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

ஆகும். இங்கு $\tau$ என்பது ஒரு கற்றையின் பாதையில் மெலிப்பு (attenuation) அல்லது ஒளியியல் ஆழம் (optical depth) ஆகும்.

$2\tau_a$ என்பது ஒரு கற்றையின் மொத்த ஒளியியல் ஆழம் (அதாவது ஒரு கதிர் திருப்புத் தானம் வரைச் சென்று மீண்டும் வெளி வருவது) ஆகும்.

$T$ என்பது கற்றைப் பாதையில் எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலையாகும். ஒரு வெப்ப நிலை மாறு (isothermal) வாயுவுக்கு,

$$T_b = T(1 - e^{-2\tau_a}) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

இச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி எலெக்ட்ரான் வெப்ப நிலை $10^6$ டிகிரிக்குச் சூரியத் தட்டின் குறுக்குப் பொலிவு வெப்பநிலை கணக்கிடப்பட்டது. இது, படம் 25·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. ஒளி வட்டத்தில் உள்ள மற்ற எலெக்ட்ரான் வெப்ப நிலைகளுக்கு இப் பொலிவு வெப்ப நிலைப் பங்கீடுகள் மதிப்பிடத் தக்க அளவு மாற்றம் அடையலாம். பரிசோதனை மூலம் இத்தகைய பொலிவு வெப்பநிலைப் பங்கீடுகளை முழுமையாக உறுதிப்படுத்த முடியவில்லை. ஏனெனில் இவ்வதிர்வெண் பகுதியில் ரேடியோத் தொலை நோக்கியின் பகுதிறன் குறைவு. ஆனால் மீட்டர் அலை நீளங்களில் 1956 ஆம் ஆண்டில் கான்வே (Conway), ஓ பிரைன் (O'Brien) என்பவர்கள் இப் பொலிவு வெப்பநிலைப் பங்கீடுகளின் அமைப்பை ஓரளவு உறுதிப் படுத்தினர்.

அமைதிச் சூரியனின் தோற்ற வெப்ப நிலையானது ஒளிப் புரைப் பருமனுள்ள ஒரு தட்டின் பொலிவு வெப்ப நிலைக்குச் சமம் என்று வரையறுக்கப்படுகின்றது. உண்மையான சூரியன் கதிர் வீசும் அளவே இத் தட்டும் கதிர் வீசும். தோற்ற வெப்பநிலை $T_{\text{தோற்றம்}}$, சூரியப் பொலிவு வெப்பநிலை $T_b(\omega)$-ன் கீழ்க்கண்டவாறு தொடர்பு கொண்டுள்ளது.

$$T_{\text{தோற்றம்}} = \frac{1}{\Omega} \int_{\omega} T_b\, d\omega \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இங்கு,

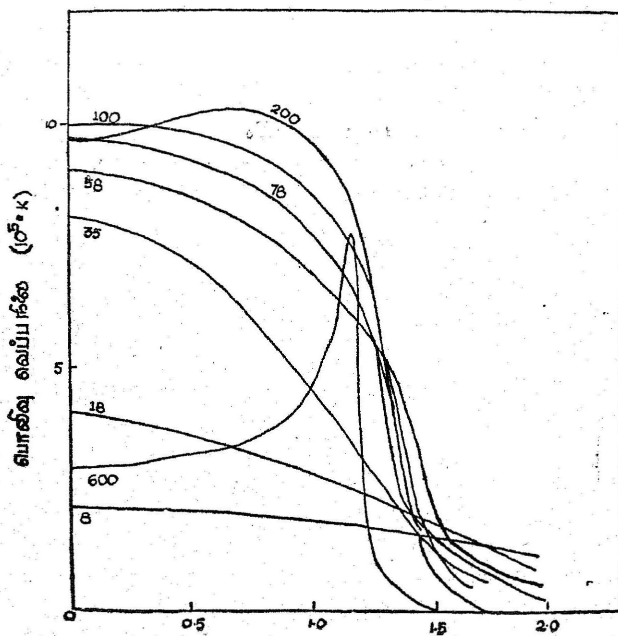
$\omega$ = ரேடியோ சூரியனின் கோணப் பரப்பு

$\Omega$ = பூமியிலிருந்து பார்க்கும் பொழுது சூரிய ஒளிப் புரையினால் தாங்கப்படும் திசைக் கோணம்.

கொடுக்கப்பட்ட வட்டச் சமச்சீர்களுக்கு,

$$T_{\text{தோற்றம்}} = 2 \int_{0}^{r_{\text{பெருமம்}}} T_b(r)\, r.dr \quad \dots \quad (7)$$

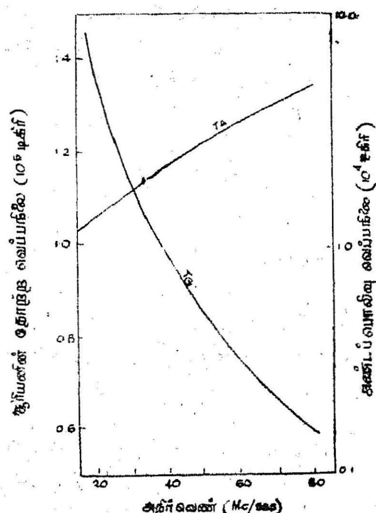
இதில் $r$ என்பது தட்டின் மையத்திலிருந்து அளக்கப்படும் கோணத் தூரமாகும் (angular distance). இந்தத் தூரம், தட்டினுடைய ஆரத்தின் அலகினால் அளக்கப் படுகின்றது. எனவே, $2r_{\text{பெருமம்}}$ என்பது கதிர் வீச்சை வெளிவிடும் தட்டின் கோணத் தூரமாகும்.




படம் 25·1

சூரியத் தட்டின் மையத்திலிருந்து அமைக்கப்பட்ட தூரம் (சூரிய ஆரங்கள்). பல அதிர்வெண்களுக்குச் சூரியத் தட்டின் குறுக்குப் பொலிவு வெபபநிலை.

இச் சமன்பாட்டையும், படம் 25·1-ல் உள்ள வளை கோடு களையும் கொண்டு தோற்ற வெப்ப நிலையை அநேக அதிர்வெண் களுக்குக் கணிக்கலாம். இவை படம் 25·2-ல் குறிக்கப் பட்டுள்ளன.




**படம் 25·2.**

கணக்கிடப்பட்ட சூரியனின் தோராய வெப்பநிலை.
அண்ட இரைச்சல் வெப்ப நிலையும், அதிர்வெண்ணும் மாறுதல்.

இவை, கோட்பாடுகளிலிருந்து கிடைத்த (theoretical) முடிவு களேயன்றி, சோதனைகள் மூலம் கிடைத்த முடிவுகளல்ல என்பதை நாம் நினைவு கொள்ள வேண்டும். தோற்ற வெப்ப நிலை முடிவுகளைச் சோதனைகள் மூலம் உறுதிப்படுத்த முடியவில்லை. ஏனெனில், பொலிவுப் பங்கீட்டைச் சரிபார்த்து நிரூபிக்க முடியவில்லை. பொலிவுப் பங்கீட்டை ஏன் சரிபார்க்க முடியவில்லையெனில் இவ் வதிர் வெண்களில் ரேடியோ தொலை நோக்கிகளின் பகுதிறன் பலவீனமாக உள்ளது.

தோற்ற வெப்பநிலை $T_{தோற்றம்}$, ஆன்டென்னு வெப்பநிலை $T_a$ உடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளதைக் கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

$$T_{தோற்றம்} = \frac{4\pi T_a}{\Omega f G_{பெருமம்}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

இங்கு, $f$ என்பது ஆன்டென்னுக் கற்றையின் முடிவான பருமனைச் சரிக்கட்ட நுழைக்கப்பட்ட ஓர் எண் ஆகும். இதை,

$$f = \frac{\int T_b G_r \, d\omega}{G_{\text{பெருமம்}} \int T_b \, d\omega} \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம். ஆண்டென்னு வெப்பநிலையும் ($T_a$) ஏற்கப்பட்ட இரைச்சல் திறனும் ($P_n$) கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டால் தொடர்பு கொண்டுள்ளன.

$$T_a = \frac{P_n}{k \Delta f} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

இங்கு,

$K$ — போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி,

$\Delta f$ — பட்டை அகலம்,

$P_n$ — சூரியக் கதிர் வீச்சினுல் ஏற்கப்பட்ட இரைச்சல் திறன் பகுதி.

மாயச் சூரியத் தட்டின் பரிமாணத்தைப் பற்றி 1956-ல் பிரேஸ்வெல், பிரஸ்டன் என்ற விஞ்ஞானிகள் விவாதித்துள்ளனர். இவர்களின் முறையைப் பின்பற்றி, மற்ற அதிர்வெண்களில் இரகசியச் சூரியனின் பரிமாணத்தைக் கணக்கிட்டுள்ளனர். இந்த இரகசியச் சூரியத் தட்டின் பரிமாணம், 80 மெகா சுற்றுகளில் 5 சூரிய விட்டமும், 10 மெகா சுற்றுகளில் 14 சூரிய விட்டமும் உள்ளது. எனவே இரகசியத் தட்டின் பரிமாணம் அதிர்வெண்ணுக்குத் தகுந்தாற் போல் மாறிக் கொண்டிருக்கின்றது. எனவே இதனை, "மாயச் சூரியத் தட்டு" எனவும் (virtual solar disc) கூறுகின்றனர். இருந்தபொழுதும், சூரிய ஒளி வட்டத்தின் ஆடிப் பண்பை (mirroring property) விளக்கும்பொழுதும், சூரியன் நிலையான அண்டத்தின் சூழ்நிலையில் இருப்பதாகவும் கொண்டால மொத்த அண்ட ஆற்றல் இழப்பைச் சக்தி வாய்ந்த ஒரு மாய விட்டத்திற்கு இணை மாற்றுகக் கூறலாம். இத்தகைய மாய அல்லது இரகசிய விட்டம், எல்லா அதிர்வெண் பகுதியிலும் சுமார் ஒரு சூரிய விட்டத்திற்கு இணையாகும் எனக் கொள்ளலாம்.

அமைதியான சூரியக் கதிர் வீசலுடன் கூடச் சில நேரங்களில் சூரியனின் வினைப் பகுதிகளிலிருந்து (active region) பல்வேறு விதமான வெடிப்புகளும் (bursts), புயல்களும் (storms) நிகழ்கின்றன. இவ் வெடிப்புகள் சில சமயங்களில் அமைதியான சூரியக் கதிர் வீசலை விட மூன்று மடங்கு அதிகமான செறிவுகளை

யுடையன. இத்தகைய நிகழ்ச்சிகள் பல்வேறு வானியல் நிபுணர்களால் அறியப்பட்டும் ஆராயப்பட்டும் உள்ளன.

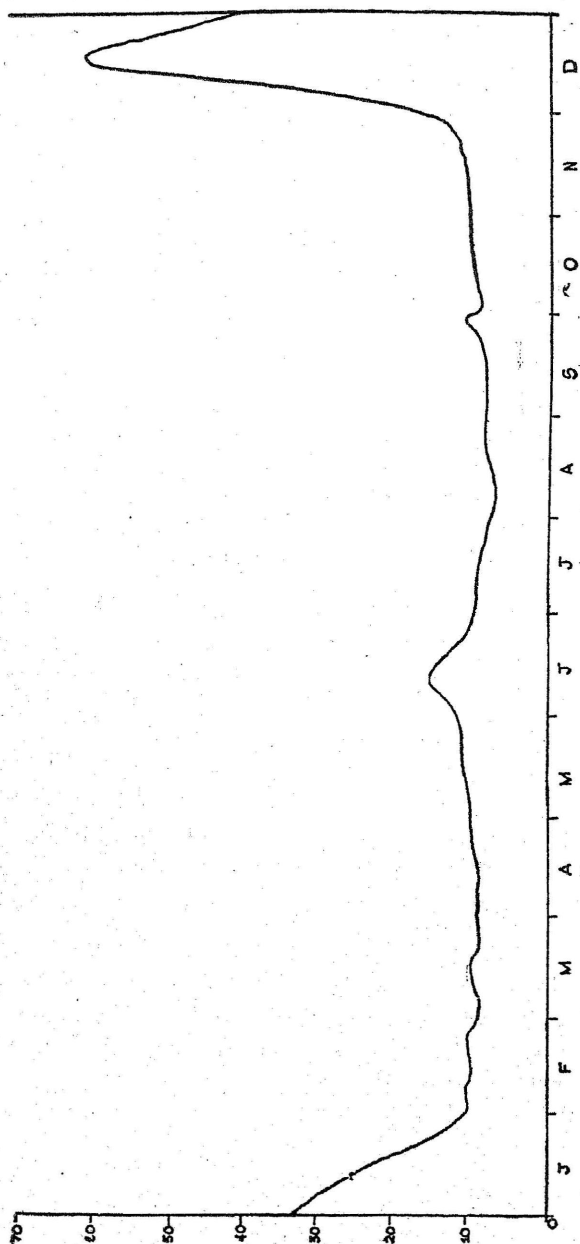
சூரியப் புள்ளிச் சிறுமத்தின்போது நீண்ட கால நேரத்திற்குச் சூரிய வெடிப்புகளே நிகழாமலும் உள்ளன. இந் நேரங்களில் அமைதிச் சூரியனிலிருந்து வெப்பக் கதிர்வீசல் மூலமாக மட்டுமே சூரிய இரைச்சல் நிகழ்கிறது. வெப்பக் கதிர் வீசலில் மெதுவாக மாறுகின்ற கூறு (slowly varying component) சூரியனின் மற்றப் பகுதிகளிலிருந்து வருகின்ற கதிர்வீசல்களால் ஏற்படுத்தப்படுகின்ற மாற்றமேயாகும். இதை அமைதிச் சூரியனின் இரைச்சல் அதிசமாவது என்றும் கூறலாம். இக் கூறு. மீட்டர் அலை நீளங்களை விட டெசிமீட்டர் அலைநீளங்களில் அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. பூமியில் பெறப்படும் மொத்த இரைச்சல், சூரிய இரைச்சல், அண்ட வெளிப்புற இரைச்சல் ஆகிய இரண்டினாலும் கூட்டாகத் தீர்மானிக்கப்படுகின்றது. இவற்றில் சூரிய இரைச்சல் முக்கியமா அல்லது அண்டவெளிப் புற இரைச்சல் முக்கியமா என்பது ஆன்டென்னாவின் திசையாற்றல் படங்கள், (polar diagrams) தொழிற்படும் அதிர்வெண், சூரியப் பாதையில் (ecliptic) சூரியனின் இருப்பிடம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருக்கும்.

ரேடியோ சூரியனின் (radio sun) கோணப் பருமனை விட ஏற்பி ஆன்டென்னாவின் கற்றை பெரிதாக இருக்கும்பொழுது ஏற்பியின் வரப்புச் சைகை அண்டத்தின் கூறாக மட்டும் இருக்கும். குறிப்பாக, உயர் அதிர்வெண்களில் செய்யப்படும் சோதனைகளில், அதாவது 30 மெகா சுற்றுகளுக்கும் குறைவான அதிர்வெண்களில் இது உண்மையாகும். பிறகு, படம் 20·3-ல் காட்டியுள்ளவாறு சூரியனின் திசையில் பொலிவு வெப்பநிலை 38 மெகா சுற்றுகள் அதிர்வெண்ணில் அமைப்பு வெப்பநிலையைக் (system temperature) கட்டுப்படுத்தும். சூரியன் அண்டத் தளத்தில் உள்ள மாதங்களான டிசம்பர், ஜூன் மாதங்களில் இரைச்சல் வெப்பநிலை அதிகமாக இருக்கும்.

காஸ்மிக் ரேடியோ அலைகளின் செறிவு, அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து மாறுவது வானக் கோளத்தில் (celestial sphere) மூலத்தின் இருப்பிடத்தைப் பொறுத்தது வானத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதிக்குப் பொலிவு வெப்பநிலையின் நியமனிலை வேறுபாடு கீழ்க்கண்டுள்ள சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகின்ற ஒரு வளைகோட்டினால் குறிக்கப்படலாம்.

$$T = (\text{மாறிலி})\, f^{-n}$$

இங்கு $n$ என்பது 2-க்கும் 3-க்கும் இடைப்பட்ட மாறியாகும்.




படம் 25·3

38 25 *MC/S*-ல் அண்டத்தின் இரைச்சலில் பதிவு செய்யப்பட்ட ஆன்டெனு வெப்பநிலை.

இந்த அதிர்வெண்களுடன் கூடிய மாறுபாடு படம் 25·2-ல் $n = 25$ என்ற மதிப்பிற்குக் காட்டப்பட்டுள்ளது. அமைதிச் சூரிய நிலைமையில் சூரிய ராடார் சோதனைக்கு வரம்பு இரைச்சலைப் படம் 25·2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள கோட்பாடுகளிலிருந்து கணக்கிடலாம். சூரியனின் கோணப் பருமனைவிட அதிகமான கற்றைக்கு அமைதிச் சூரியனால் இரைச்சல் திறன் ($K.T_{தோற்றம்}$ $\Omega\, G_n)/4\pi$ என்பதும் சூரியனுக்கப்பால் உள்ள வானப் பகுதியால் இரைச்சல் திறன் $K{\cdot}T_G \int G d\omega/4\pi$ ஆகும். இங்கு $G_n$ என்பது ஏற்பி ஆன்டென்னா இலாபத்தின் சராசரி மதிப்பாகும். இத் தொகுனியாக்கம் சூரியனால் மறைக்கப்படாத எல்லாத் திண்மக் கோணங்களின் மீதும் செய்யப்பட வேண்டும். முன்னரே கூறிய படி உண்மை நிலையில் செயலுறு மாய மண்டலம் (zone) கண்ணுக்குப் புலனாகும் வட்டத்தைவிட மிகவும் பெரியதாக இல்லை. இதற்குக் காரணம் ஒளி வட்டத்தின் ஆடிப் பண்பேயாகும். இவ் விரு விதமான இரைச்சல் திறன்களின் தகவு, அதிர்வு எண்ணையும் கற்றையின் பருமனையும் அதிகமாகச் சார்ந்துள்ளது. துல்லியமான கணக்கீடுகள். சோதனைகள் செய்யப்படுகின்ற ஆண்டின் பகுதியையும் அப்பொழுது சூரியனின் இரைச்சல் தன்மையையும் பொறுத்திருக்கும்.

### டாப்ளர் விளைவு (Doppler effect)

சிதறடிக்கும் மையத்திற்கும் ராடாருக்கும் இடையே ஒரு சார்பியக்கம் இருக்கும்பொழுது ஏற்பியில் பெறப்படும் சைகையின் அதிர்வெண் டாப்ளர் விளைவால் மாறுதலடையும். பார்வைத் திசைவேகம் (sight velocity) $v$ ஆக இருக்கும்பொழுது அதிர்வெண் இடப் பெயர்ச்சி $\Delta f$,

$$\Delta f = -\frac{2vnf}{c} \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகின்றது. இங்கு,

$f$ — பரப்பப்பட்ட அதிர்வெண்,

$c$ — ஒளியின் திசைவேகம்,

$n$ — எதிரொளிப்பு மையம் இயங்குகின்ற ஒளிவிலகலெண்.

இங்கு, $vn << c$

சூரிய எதிரொளிப்புகளில் டாப்ளர் விளைவுகள் கீழ்க்கண்ட விளைவுகளால் நிகழ்கின்றன.

(a) சூரியனும் பூமியும் அவற்றின் அச்சைப் பற்றிச் சுழலுதல்,

(b) சூரியனைச் சுற்றி பூமி ஒரு வட்டப் பாதையில் இயங்குதல்,

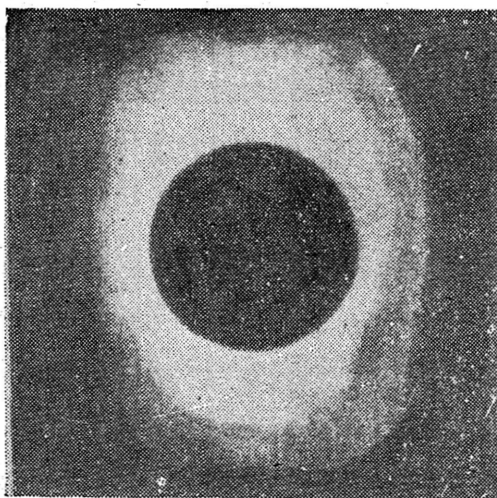
(c) சூரிய ஒளி வட்டத்தில் எதிரொளிப்பு மையங்கள் இயங்குதல்.

(b), (c) ஆகியவற்றில் கூறப்பட்ட இரு செயல்களும் அதிக அளவு அதிர்வெண் பெயர்ச்சிகளை உண்டாக்குகின்றன. (b)-ல் கூறப் பட்ட காரணத்தினால், டாப்ளர் விளைவு 30 மெகா சுற்றுகள் அதிர்வெண்ணில் ஆண்டு முழுதும் — 100 லிருந்து + 100 சுற்றுகள் வரை மாறுகின்றது. பூமியின் சுழற்சியால் ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சியானது ராடார் அமைந்துள்ள அட்சக் கோடு, சூரியனின் ஒதுக்கம் (declination of sun) ஊர்க் கோணக் காலம் (local hour angle) ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது. ஆனால் இது 30 மெகா சுற்றுகளில் 93 சுற்றுகளுக்குக் குறைவாகவே எப்பொழுதுமிருக்கும். சூரியனின் உச்சிக் கடக்கும் காலத்தை (local transit time) விட 8 நிமிடங்கள் முன்பாகச் சைகைகள் அனுப்பப்பட்டு, உச்சிக் கடக்கும் காலத்திற்குப் பிறகு 8 நிமிடங்கள் கழித்து அச் சைகைகள் பெறப்பட்டால் பூமியின் சுழற்சியால் ஏற்படும் டாப்ளர் விளைவு சுழியாகும்.

சூரியனின் சுழற்சியால் ஏற்படும் டாப்ளர் விளைவு, சூரிய ராடார் வட்டத்தில் ராடார் பொலிவுப் பங்கீட்டைப் பொறுத்து அமையும். இப் பங்கீடு, சூரியனின் மையக் கோட்டைப் பொறுத்துச் சமச்சீராக இருந்தால் சூரியச் சுழற்சியால் ஏற்படும் டாப்ளர் விளைவும் எதிர்பார்க்கப்பட்ட அதிர்வெண்ணில் சமச்சீர் உடைய தாக இருக்க வேண்டும். இந்நிலையில் டாப்ளர் இடப் பெயர்ச்சி யின் பெருமம் 30 மெகா சுற்றுகள், ராடார் அதிர்வெண்ணில் 1·4 கிலோ சுற்றுகளாகும். இம்மதிப்பு சூரியனின் ராடார் தட்டிற்கு 2° விட்டத்தையும் சுழற்சி நேரம் 27 நாட்களையும் கருத்தில் கொண்டு பெறப்படுகிறது. ஒளி வட்டத்தின் எதிரொளிப்பு மையங்கள் வெளிப்புறமாக நகர்ந்தால் இவ்வியக்கத்தினால் கூடுதலான இடப்பெயர்ச்சிகள் நிகழும். இவ் வெவ்வேறு கூறு களின் அளவு வெவ்வேறாக இருக்கும். இக் காரணத்திற்காக ஏற்படும் இடப் பெயர்ச்சி 38 மெகா சுற்றுகளில் 4 கிலோ சுற்றுகளாகக் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது.

**கதிர்ப் பாதைகள்** (Ray paths)

கண்ணிற்குத் தெரிகின்ற சூரியன், ஒளிப்புரை, (photosphere), செந்நிறப்புரை (chromsphere), ஒளிவட்டம் (carona) ஆகிய பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இவற்றில் ஒளிப்புரை மிகுந்த பொலிவுடைய பரப்பாகும். இதிலிருந்துதான் கண்ணிற்குத் தெரிகின்ற ஒளி முழுவதும் வீசப்படுகின்றது. இதன் ஆரம் $6960 \times 10^8$ மீட்டர்களாகும். செந்நிறப் புரையின் ஆரம் ஏறத்தாழ $10^7$ மீட்டர்களாகும். இது ஒளிப் புரைக்கு அடுத்தாற் போல் அமைந்துள்ளது. ஒளி வட்டம் என்பது செந்நிறப் புரைக்கு வெளிப்புறப் பகுதியாகும். மிகக் குறுகிய அலை நீளத்தையுடைய சைகைகளைப் பயன்படுத்தினாலன்றி ராடார் சைகைகள் ஒளி வட்டத்தை மட்டுமே ஊடுருவிச் செல்கின்றன. ஒளி வட்டம் வெப்பமான அயனியாக்கமடைந்த வாயுவாகும். இதன் வெப்பநிலை ஒரு மில்லியன் டிகிரிகளாகும். இது முழுச் சூரியக் கிரகணத்தின் பொழுது தென்படுகிறது. இதற்குக் காரணம் ஒளிப் புரையிலிருந்து ஒளி எதிரொளிக்கப் படுவதேயாகும். படம் 25 4, 1963 ஜூலை 20-ல் நிகழ்ந்த சூரியக் கிரகணத்தின் பொழுது எடுக்கப்பட்ட நிழற்படமாகும்.



படம் 25·4

1963 ஜூலை, 20-ல் அலாஸ்காவில் நிகழ்ந்த சூரியக் கிரகணம்.

அப்பொழுது ஒளிவட்டத்தின் அமைப்பு ஒழுங்கற்றதாக இருந்தமை படத்திலிருந்து தெளிவாகிறது. இப் படம், சூரியப் புள்ளிச் சிறுமத்திற்கு ஓராண்டு முன்னதாக எடுக்கப்பட்டது. சூரியப் புள்ளிக் காலச் சுற்றின் (sun spot cycle) போது மற்ற நேரங்களில் அதன் தோற்றம் சிறிது மாறுபட்டிருக்கும். சூரியப் புள்ளி பெருமத்தின் போது, ஒளிவட்டக் கதிர்கள் (coronal rays) முழுச் சூரியனையும் பற்றி ஒரே சீராகப் பங்கீடு செய்யப்பட்டிருக்கும். எனவே, ஒளிவட்டம் மேலும் வட்டமாக காணப்படும். சிறுமத்திற்கும் பெருமத்திற்கும் இடையே எடுக்கப்பட்ட நிழற்படங்கள் பொதுவாக ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட நீண்ட கதிர்களைக் காண்பிக்கின்றன. ஒளிவட்டத்தில், அயனிகளும் (ions) குறிப்பாக ஹைடிரஜன் அயனிகளும் (புரோட்டான்கள்), ஹீலியமும் காணப்படுகின்றன; மேலும் சில கனமான தனிமங்களும் இருப்பதாக அறியப்படுகிறது.

ஒளி வட்டத்தில் வெள்ளை ஒளியின் செறிவிலிருந்தும், சூரிய ரேடியோ வெடிப்புகளின் தன்மைகளிலிருந்தும் ஒளி வட்டத்தில் அயனியாக்க அடர்த்திகள் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன, இவ் வடர்த்தி, காலத்தைப் பொறுத்தும் சூரியத் தட்டின் இருப்பிடத்தைப் பொறுத்தும் மாறுகின்றது. சூரியப் புள்ளி பெருமத்தின் பொழுது சராசரி அடர்த்தி, சூரியப் புள்ளிச் சிறுமத்தின் பொழுதுள்ள அடர்த்தியை விடப் பன்மடங்கு அதிகமாக உள்ளது. மேலும், துருவங்களிலும் (poles) நடுவரையிலும் (equator) வினைப்பகுதி, அமைதிப் பகுதி ஆகியவற்றிலும் சராசரி அடர்த்திகளில் குறிப்பிடத்தக்க மாறுதல்கள் இருக்கலாம். வெவ்வேறு நிலைமைகளில் அயனியாக்க அடர்த்திப் பங்கீடு, வான் டீ ஹல்ஸ்ட் (Van de Hulst) என்பவரால் 1953-லும், நியூகர்க் (Newkirk) என்பவரால் 1961-லும், டீ ஜேகர் (De Jager) என்பவரால் 1959-லும், பொட்டாஷ் (Pottach) என்பவரால் 1960-லும், ஸ்மெர்டு (Smerd) என்பவரால் 1964-லும் ஆராயப்பட்டுள்ளன. இத்தகைய சில எலெக்ட்ரான் அடர்த்திப் பங்கீடுகள் அட்டவணை 25·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

## அட்டவணை 25·1

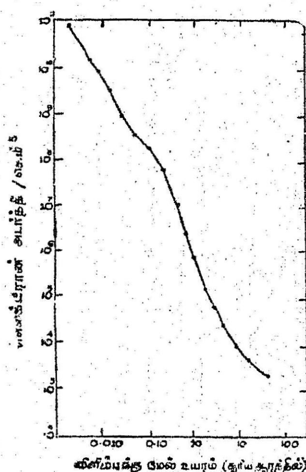
சூரிய ஒளி வட்டத்தில் எலெக்ட்ரான் அடர்த்திகள், வெப்ப நிலைகள், பிளாஸ்மா அதிர்வெண்கள்.

| சூரிய மையத்திலிருந்து தூரம் (சூரிய தூர அலகில்) | log [எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி per ($cm^3$)] | | | | | எலெக்ட்ரான் வெப்ப நிலை ($10^8$ ok) | பிளாஸ்மா அதிர்வெண் Mc/Sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ஆலன் (1947) | பொட்டாஷ் சிறுமம் (1960) | வான்டி ஹல்ஸ்ட் பெருமம் (1953) | நியூகர்க் பெருமம். விளைப் பகுதியில் (1961) | நியூகர்க் பெருமம். நடு வரையில் (1961) | | |
| 1·0043 | — | 16·54 | — | — | — | 0·04 | 1680 |
| 0·0144 | — | 15·40 | — | — | — | 0·15 | 450 |
| 1·043 | 14·44 | 14·56 | 14·45 | — | — | 0·45 | 172 |
| 1·072 | 14·30 | 14·21 | 14·32 | 14·66 | 14·93 | 0·75 | 115 |
| 1·10 | 14·18 | 14·00 | 14.20 | 14·51 | 14·83 | 1·0 | 90 |
| 1·2 | 13·83 | 13·59 | 13·85 | 14·23 | 14·52 | 1·4 | 56 |
| 1·3 | 13·56 | 13·33 | 13·58 | 13·94 | 14·25 | 1·5 | 42 |
| 1·4 | 13·34 | 13·19 | 13·36 | 13·70 | 14·00 | 1·6 | 33 |
| 1·5 | 13·15 | 12·97 | 13·17 | 13·52 | 13·79 | 1·6 | 27 |
| 1·6 | 12·97 | 12·79 | 13·00 | 13·34 | 13·59 | 1·6 | 22 |
| 1·7 | 12·81 | 12·63 | 12·84 | 13·19 | 13·41 | 1·5 | 18·5 |
| 1·8 | 12·66 | 12·48 | 12·70 | 13·04 | 13·24 | 1·5 | 15·6 |
| 1·9 | 12·52 | 12·36 | 12·57 | 12·91 | 13·10 | 1·4 | 13·6 |
| 2·0 | 12·38 | 12·25 | 12·45 | 12·79 | 12·95 | 1·4 | 12·0 |
| 2·5 | 11·80 | 11·81 | 11·92 | — | — | 1·2 | 7·2 |
| 3·0 | 11·33 | 11·52 | 11·50 | — | — | 1·1 | 5·2 |
| 4·0 | 10·58 | 11·09 | 10·95 | — | — | 0·87 | 3·1 |
| 5·0 | 9·99 | 10·80 | 10·65 | — | — | 0·73 | 2·2 |
| 6·0 | 9·52 | 10·59 | 10·46 | — | — | 0·65 | 1·7 |
| 10·0 | 8·19 | 10·10 | — | — | — | 0·45 | 1·0 |

அயனியாக்க அடர்த்திக்கு 1947-ல் ஆலென் என்பவரால் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு கொடுக்கப்பட்டது.

$$N = (1{\cdot}55\,\rho^{-6} + 2{\cdot}99\,\rho^{-16})\,10^{14} \text{ எலெக்ட்ரான்கள்}/m^3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

இங்கு, $\rho$ = ஒளிப்புரை ஆரத்தின் அலகில் சூரிய மையத்தின் தூரம். பொட்டாஷ் அமைப்பு (Pottach model) சூரியப் புள்ளி சிறுமத்தின் சிறந்த மாதிரியாகும். இவ்வமைப்பு, படம் 25·5(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 25·5 (a)

சூரிய ஒளிவட்ட மையத் தளத்தில் சூரியப்புள்ளி சிறுமத்தில் எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி

**சூரிய ஒளிவட்டத்தின் மையத்தளத்தில் சூரியப்புள்ளி சிறுமத்தில் எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி**

பூமியிலிருந்து ராடார் அலை சூரிய ஒளிவட்டத்தை ஊடுருவிச் செல்லும்பொழுது எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி அதிகரிக்கின்றது. எனவே அலை, மோதல் அதிர்வெண்ணிற்கு (collision frequency) நேர் விகிதத்தில் மெலிவடைகிறது. நடுக் கதிரின் வழியாக ஒரு புள்ளியில் ஒளி விலகலெண் சுழியாகிறது. எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி மாறுநிலை அடர்த்தி (critical density) ஆகிறது; அலை எதிரொளிக்கப்படுகிறது. ஒளி விலகலெண் மாறுவதால் பெரும்பாலான கதிர்ப் பாதைகள் வளைகின்றன. அங்குள்ள காந்தப் புலம்,

அலையை இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கின்றது. இது, காந்த அயனி (magneto-ionic) விளைவு எனப்படும். இவ்விரு கூறுகளும் வெவ்வேறு தளவிளைவுகளைப் பெற்றுள்ளன. இவ்விரண்டு காந்த அயனிக் கூறுகளும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் பரவுகின்றன; வெவ்வேறு அளவில் எதிரொளிக்கின்றன. சூரியனின் காந்தப் புலம் மிகக் குறைவானதால் (~ | காஸ் அல்லது குறைவு) அதனை ஒதுக்கிவிடலாம்.

கோள வடிவச் சமச்சீரான ஒளிவட்டத்தினூடே ரேடியோ அலைகளின் பாதை அநேக ஆராய்ச்சியாளர்களால் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது இவ்வலைகளின் பாதை ஸ்நெல்லின் சமன்பாட்டின் அடிப்படையில் பெறப்பட்டுள்ளது.

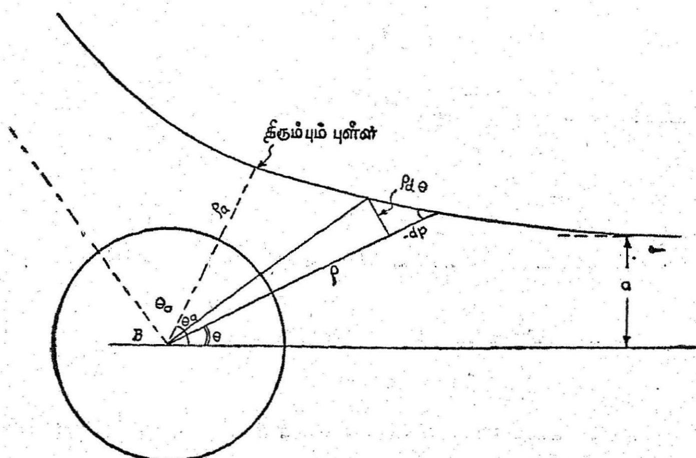
அதாவது $n \rho \sin i = a$ ... ... (13)

இங்கு, $n$ = ஒளிவிலகல் எண்,

$i$ = மாறாத ஒளிவிலகல் எண் $n$ ஐயுடைய பரப்பில் கதிரின் படுகோணம்,

$a$ = ஒரு மாறிலி.

$a$ என்பது ஒரு கதிரின் தொலை தொடுகோட்டிற்கு (asymptote), சூரியனின் மையத்தின் வழியாக அதற்கிணையான ஒரு கோட்டிற்கும் இடையே உள்ள தூரமாகும். இது ஒளிப்புரை ஆர அலகில்




படம் 25·5 (b)

ஒரு சமச்சீர் ஒளிவட்டத்தினூடே ஒரு கதிரின் பாதை

கொடுக்கப்படுகிறது. கதிரின் பாதையில் ($\rho$, $\theta$) என்ற புள்ளியில் படம் 25 5(b) $\rho$. $\theta$. $i$ ஆகியவற்றிற்கு இடையே உள்ள தொடர்பு கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

$$\frac{\rho \cdot d\theta}{d\rho} = -\tan i \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (14)$$

சமன்பாடுகள் (13), (14) அடர்த்தி ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$\tan i = \frac{\sin i}{(1 - \sin^2 i)^{\frac{1}{2}}}$$ என்றாகிறது.

எனவே, கதிரின் பாதையைக் கணக்கிடுவதற்கான வாய்பாடு (formula)

$$\frac{\rho\, d\theta}{d\rho} = \frac{-a}{(n^2 \rho^2 - a^2)^{\frac{1}{2}}}$$ அல்லது,

$$\theta = \int_{\rho}^{\infty} \frac{a}{\rho\,(n^2 \rho^2 - a^2)^{\frac{1}{2}}}\, d\rho \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (15)$$

ஒளி விலகலெண் $n$, ஒதுக்கத் தக்க அளவு காந்தச் செறிவுள்ள அயனியாக்கம் அடைந்த ஊடகத்தில்

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 + Z^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (16)$$

இங்கு $X = \frac{Ne^2}{m\, \epsilon_0\, \omega^2}$

$Z = \frac{\gamma}{\omega}$

இங்கு $N$ என்பது அயனியாக்க அடர்த்தி (எலெக்ட்ரான்கள்/மீட்டர்[3])

$e$ = எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்

$m$ = எலெக்ட்ரான் நிறை

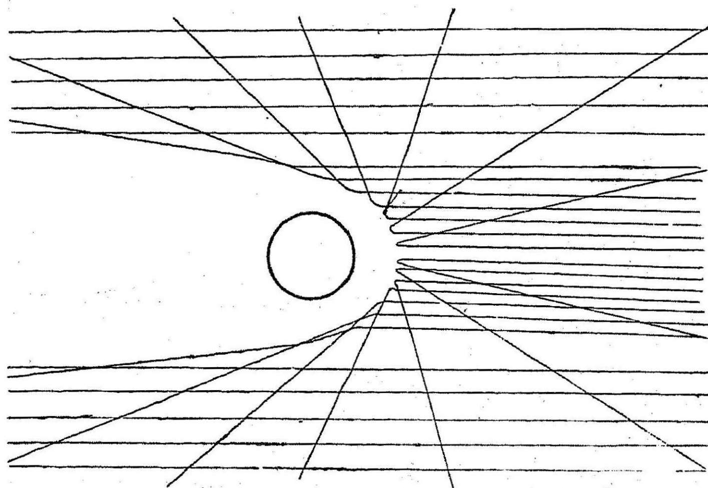
$\epsilon_0$ = வெற்றிடத்தின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி.

$\frac{e^2}{\epsilon_0\, m}$ = 3182 $MKSA$ அலகுகள்.

$\omega = 2\pi f$. இது கோண ரேடியோ அதிர்வெண் என படும்.

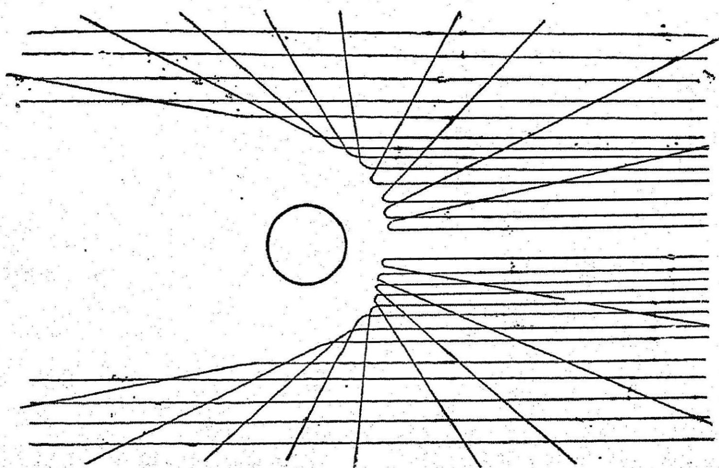
$\gamma$ = எலெக்ட்ரானில் மோதல் அதிர்வெண்.

கதிர்ப்பாதைகள் 38 $Mc$/வினுடி-க்குக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன இவை, படம் 25·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 25·6.

38 $Mc/s$-ல் ஆலென் ஒளி வட்டத்தில் கதிர்ப் பாதைகள்.



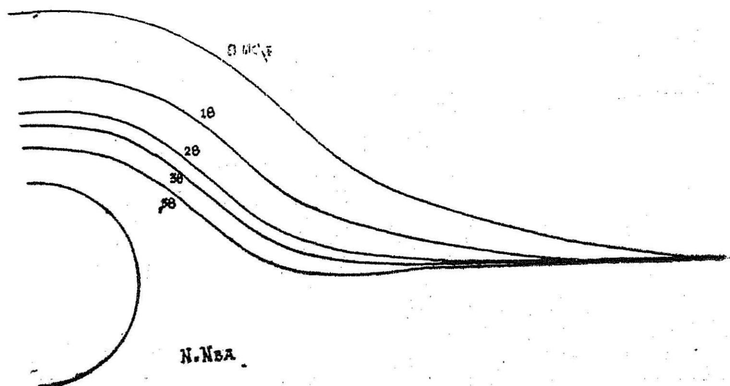
படம் 25 7.

18 $Mc/s$-ல் எடுக்கப்பட்ட ஆலென் ஒளி வட்டத்தில் கதிர்ப் பாதைகள்.

படம் 25·7-ல் ஆலென் ஒளி வட்டத்தில் 18 $Mc$/விநாடி கதிரின் பாதைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன.

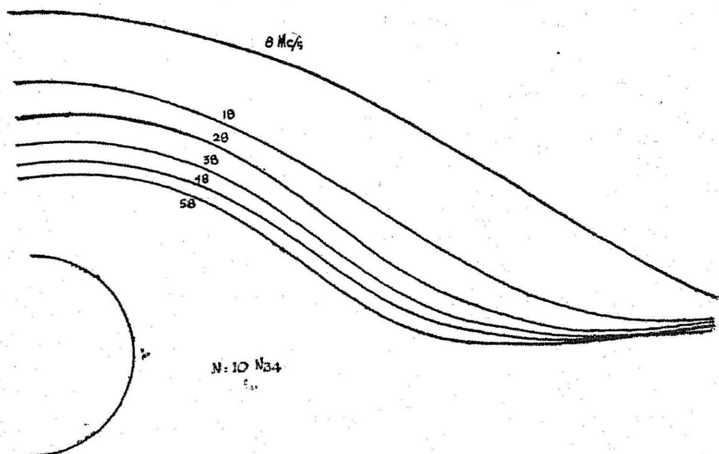
ஒவ்வொரு கதிரிலும் சூரியனின் மையத்திற்கு அருகே உள்ள ($\rho_a$, $\theta_a$) என்ற புள்ளி, திரும்பற் புள்ளி (turning point) எனப்படும். இப் புள்ளியில் $\sin i = 1$. எனவே, சமன்பாடு (13)-லிருந்து,

$n_a \rho_a = a$ ஆகும். ... ... ... (17)




**படம் 25·8.**

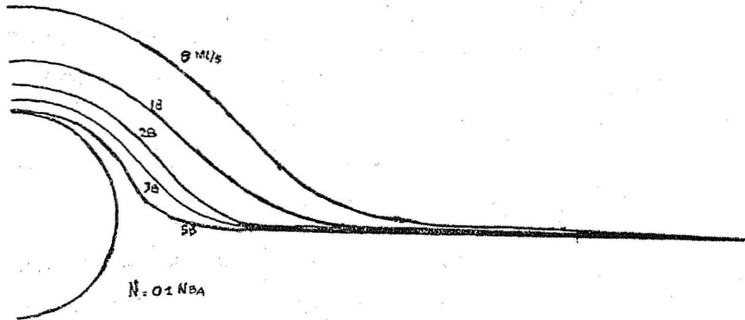
பாம்பாக் - ஆலென் அடர்த்தியையுடைய சமச்சீர் ஒளி வட்டத்தில் திரும்பப் புள்ளிகளின் நியமப் பாதை.




**படம் 25·9.**

பாம்பக்-ஆலென் அடர்த்தியைப்போல் 10 மடங்கு அடர்த்தியையுடைய சமச்சீர் ஒளி வட்டத்தில் திருப்பப் புள்ளிகளின் நியமப் பாதை

சமன்பாடுகள் (15), (17) ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி வரையப் பட்ட திரும்பற் புள்ளியின் நியமப் பாதைகள் (lcci) படங்கள் 25·8, 25·9, 26 10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை அயனி யாக்க அடர்த்திகள் 0·1, 1 0, 10·0 மடங்குகள் ஆலென் அடர்த்திக்கு வரையப்பட்டுள்ளன.




படம் 25·10.

பாம்பக்-ஆலென் அடர்த்தியில் 1/10 மடங்கு அடர்த்தியையுடைய சமச்சீர் ஒளி வட்டத்தில் திரும்பப்புள்ளிகளின் நியமப்பாதை

**மெலிதலும் தொகுப்பு வேகமும் (Attenuation and group velocily)**

ஒரு ராடாரிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளிக்குச் செல்கின்ற ரேடியோ ஆற்றல் ஒளி வட்டத்தில் உட்கவரப்படும் அளவு அப் புள்ளியின் ஒளியியல் ஆழம் (optical depth) எனப்படும் இது,

$$\tau = \int_{\text{பாதை}} K \cdot ds \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து பெறப்படும். இங்கு $K$ என்பது ஓரலகு நீளத்திற்கு உட்கவர் எண் (absorption coefficient) எனப்படும். திரும்பற் புள்ளியில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒரு ராடார் அலைக்கு மொத்த உட்கவர் எண் (round trip coefficient) $2\tau$ ஆகும். மேலும், உட்கவர்தல் இருக்கும்பொழுது எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றலின் அளவிற்கும், உட்கவர்தல் இல்லாதபோது எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றலின் அளவிற்கும் உள்ள தகவு $e^{-2\tau}$ ஆல் கொடுக்கப்படும். இது ராடாரிலிருந்து ஒளி வட்டத்திற்கும், ஒளி வட்டத்திலிருந்து ராடாருக்கும் உள்ள பாதைகள் ஒரே மாதிரி

யாக இருந்தால் மட்டுமே பொருந்தும். உட்கவர்தல் எண் பொதுவாக,

$$K = \frac{\gamma X}{nc} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (19)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

$X, n$ என்பவை சமன்பாடு 16 ஆல் பெறப்படுகின்றன. சமன்பாடு 18-ல் உள்ள $ds$, ஒளிப்புரை வட்ட ஆரத்தின் அலகில் $(R\odot)$

$$ds = R\odot \left[ 1 + \left( \rho \frac{d\theta}{de} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} d\rho \quad \dots \quad \dots \quad (20)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது. எனவே, ஒளியியல் ஆழம்,

$$\tau = \int_{\text{பாதை}} K \cdot ds$$

$ds$-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$\tau = R\odot \int K \left[ 1 + \left( \rho \frac{d\theta}{d\rho} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} d\rho.$$

இதில் சமன்பாடு 15 ஐப் பதிலீடு செய்தால்,

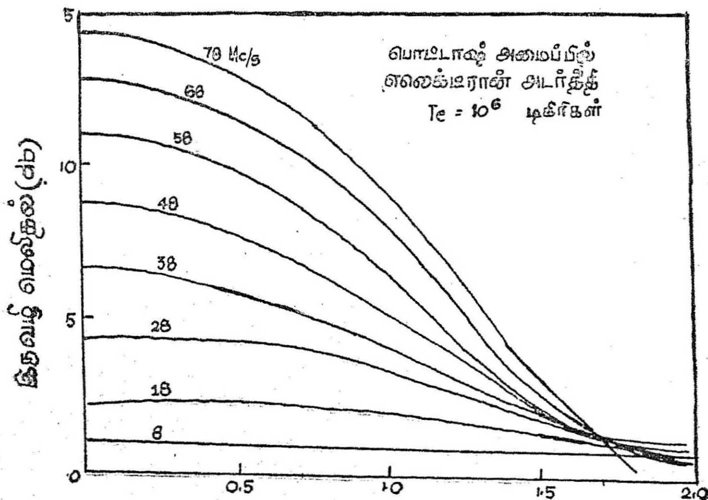
$$\tau = R\odot \int_{\rho_a}^{\infty} K \left[ 1 + \frac{a^2}{(n^2 \rho^2 - a^2)} \right]^{\frac{1}{2}} d\rho.$$

$$= R\odot \int_{\rho_a}^{\infty} K \frac{(n^2 \rho^2 - a^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}}{(n^2 \rho^2 - a^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\tau = R\odot \int_{\rho_a}^{\infty} \frac{K n\rho}{(n^2 \rho^2 - a^2)^{\frac{1}{2}}} d\rho \quad \dots \quad \dots \quad (21)$$

மேலே கண்ட சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி இரு வழி உட்கவர் எண்ணின் மதிப்புகள் பல அதிர்வெண்களுக்கு

எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலை ஒரு மில்லியன் டிகிரிகளாகவும், பொட்டாஷ் அடர்த்திக்கும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. முடிவுகள், படம் 25·11-ல் காட்டியவாறு அமைகின்றன.




படம் 25·11.

சூரியத் தட்டின் மையத்திலிருந்து தூரம் (சூரிய ஆர அலகில்).
பல அடுக்கங்களுக்கு இருவழி மெலிதல்

ராடார் சைகைக்குக் காலதாமதத்தைச் (time delay) சைகைப் பாதையின் ஒளிவிலகல் எண்ணிலிருந்து கணக்கிடலாம். பயண நேரம் (travel time)

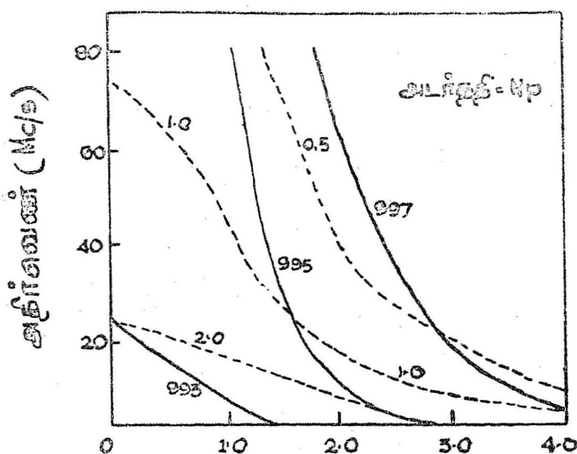
$$t_r = \frac{1}{c} \int_{\text{பாதை}} \frac{ds}{n} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (22)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது. உபரித் தொகுப்புத் தாமதம் (excess group delay) என்பது அதே பாதையில் உண்மையான பயண நேரத்திலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட பயண நேரத்தைக் கழிக்கும் பொழுது கிடைக்கும் நேரமாகும். இது,

$$t_g = \frac{1}{c} \left\{ \int_{\text{பாதை}} \frac{ds}{n} - \int_{\text{பாதை}} ds \right\} \dots (23)$$

இங்கு,

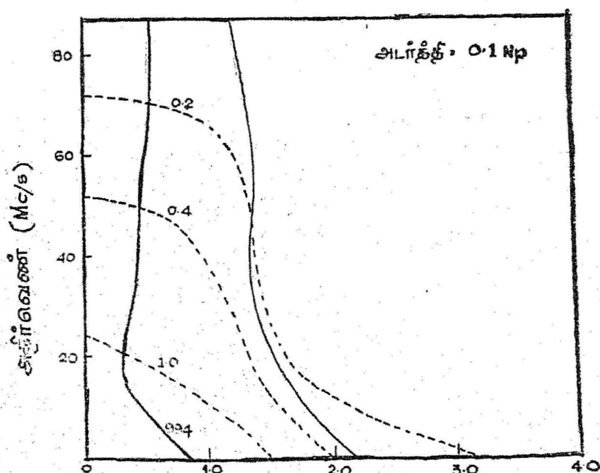
$c$, வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகமாகும்.




$Np - N$ பொட்டாஷ் அயளியாக்க அடர்த்தி = 1·0

**படம் 25·12 (a)**

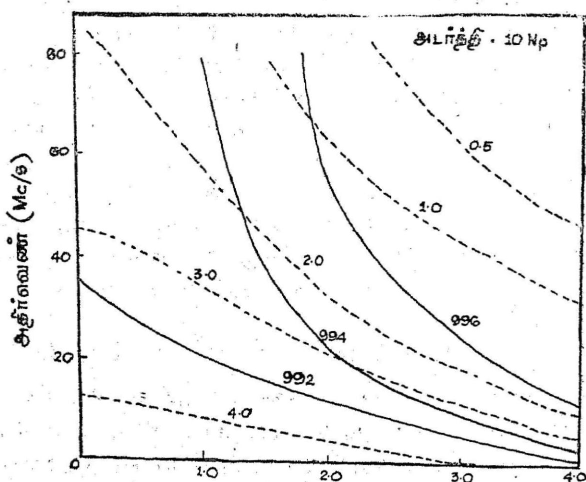
சூரியத் தட்டின் மையத்திலிருந்து தூரம் (சூரிய ஆர அலகில்)




**படம் 25·12 (b)**

சூரியத் தட்டின் மையத்திலிருந்து தூரம் (சூரிய ஆரத்தில்)

$t_r$, $t_g$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் கோணச் சமச்சீரான ஒளி வட்டத்திற்குத் திரும்பற் புள்ளிகளில் எதிரொளிப்பு நிகழ்கிறது என்று கொண்டு கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. பல்வேறு அயனியாக்க அடர்த்திகளுக்கு இம் முடிவுகள் அதிர்வெண்ணுடன் படங்கள் 25·12 (a), (b), (c)-ல் காட்டியவாறு வரையப்பட்டுள்ளது.




படம் 25·12 (c)

அயனியாக்க அடர்த்தி = 10

சூரியத் தட்டின் மையத்திருலிந்து தூரம் (சூரிய ஆரத்தில்)

12 (a), 12 (b), 12 (c)-இப் படங்களில்

— கோடுகள் பூமியிலிருந்து மொத்தப் பயண நேரம் (வினடி)

... கோடுகள் உபரித் தாமத நேரம் (வினடியில்)

## எதிரொளிப்பு மாதிரி அமைப்புகள் (Models of reflection mechanism)

ஆலெனுடைய கோளச் சமச்சீர் அமைப்பில் எதிரொளிப்பு முக்கியமாக மைய ஃபிரனெல் மண்டலத்திலிருந்து (central fresnal zone) நடை பெறுகிறது. இது சூரிய வட்டத்தின் மையத்தில் சிறிய வட்டப் புள்ளியாகத் தோன்றும். காணப்படுகின்ற எதிரொளிப்புக் கோணப் பங்கீடு முறையைச் சரியான முறையில் விளக்காததால் இது உண்மையான அமைப்பாகக் கருதத் தோன்றவில்லை. மேலும் டாப்ளர் விளைவையும் காலத்தோடு எதிரொளிப்பு மாறுகின்ற முறையையும் இது விளக்கவில்லை. இருந்த போதிலும்

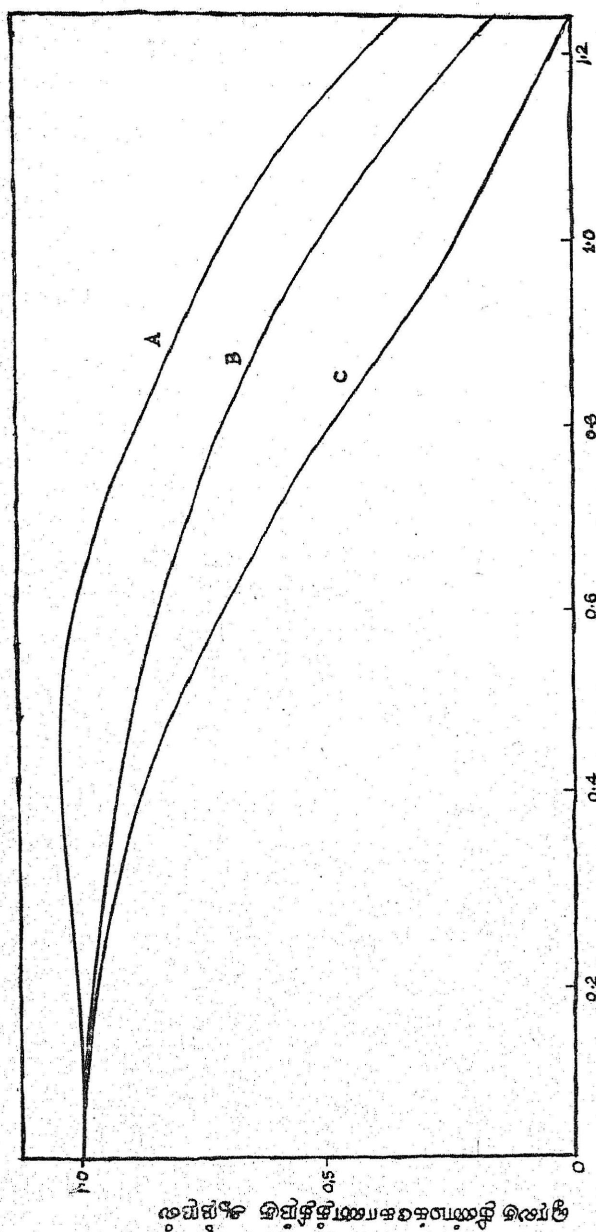
இது எளியதாக இருப்பதாலும், மிருதுவற்ற பரப்புகளுக்குச் சில மாறிலிகளைச் சுலபமாகப் பெற முடிவதாலும், இது உபயோகமான மாதிரி அமைப்பாகக் கருதப்படுகின்றது. இதன் அடிப்படையில் தான் கெர் 1952-ல் எதிரொளிப்புச் சைகையின் செறிவைக் கணக்கிட்டார். எதிரொளிப்பு நிகழ்கின்ற திரும்பற் புள்ளிப் பரப்பின் வளைவு (curvature), $X = 1$ என்ற கோளத்தின் வளைவை விடச் சிறியதாக இருக்கும் என்று குறிப்பிட்டார். இது. முதல் ஃபிரெனல் மண்டலத்தின் பருமனை அதிகரிக்கிறது. மாறாகத் திரும்பற் புள்ளிப் பரப்பில் பாய அடர்த்தி (flux density) குறைகிறது. இதற்குக் காரணம் கதிர்கள் ஒளி வட்டத்தில் நுழையும் பொழுது ஒதுக்கப்படுவதேயாகும். இவ்வமைப்பிற்கு உட்கவர்தல், கால தாமதம் ஆகியவற்றையும் மேலே குறிப்பிட்ட முறைகளைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். படங்கள் 25·12 (a), (b), (c)–லிருந்து திருப்பற் புள்ளிப் பரப்பில் உபரித் தொகுப்புத் தாமதம் மையத்திற்கு அருகேயுள்ள கதிர்களுக்குப் பெருமம் என்றும், இம் மையக் கதிர்களுக்கு உட் கவர்தல் பெருமம் என்றும் அறியலாம்.

**மிருதுவற்ற தளப் பரப்பு அமைப்பு** (Rough surface model)

மேலே கூறப்பட்டதைவிட நடைமுறைக்கு உகந்த ஒளி வட்டத்தின் வேறொரு மாதிரி அமைப்பை லாம்பர்ட்டின் விதிப்படி, எதிரொளிப்புப் பரப்பு மிருதுவற்ற தன்மையுடையது எனக் கொண்டு. பெறலாம். இம் முறையிலும் சில இடையூறுகள் உள்ளன. முதலாவது, கதிர் ஊடுருவிச் செல்லும்பொழுது ஆழத்துடன் உட்கவர்தல் மாறுவதால் சிதறடிக்கும் பரப்பின் இருப்பிடம் எதிரொளிக்கப் பட்ட ஆற்றலை வெகுவாகப் பாதிக்கும். இரண்டாவதாக, எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கு மேல் ஒளி வட்டத்தில் கதிர்களின் ஒதுக்கத்தைக் கணக்கிடுவதும் கடினமாகும். சிதறடிக்கும் பரப்பு, கதிர்களின் திருப்பற் புள்ளிகளின் நியமப் பாதையிலிருந்தால் பிறகு சிதறடிக்கும் பரப்பில் படுகோணம் 90° ஆகும். இது, மையக் கதிருக்கு மட்டும் பொருந்தாது. இது திருப்திகரமாக இல்லை; ஏனெனில் திருப்பற் புள்ளிப் பரப்பில் ஓரலகுப் பரப்பினால் எதிரொளிக்கப்படும் திறன் $I$

$$I_{\text{லாம்பர்ட்}} = \text{காஸ்}^2 i.$$

இங்கு $i$ என்பது படுகோணமாகும். மையக் கதிரைத் தவிர மற்றவைகளுக்கு $i = 90°$ ஆதலால் காஸ்$^2$ $90° = 0$. எனவே எதிரொளிப்பு நிகழாது. ஆகவே, கதிர்கள் தங்கள் பாதையிலிருந்து விலகவில்லை; வெளி ஒளிவட்டத்தில் உட்கவர மட்டுமேபடுகின்றன என்று கொள்ளவேண்டும்.




படம் 25·13.

மிருதுவற்ற தளப்பரப்பில் 38 Mc/s-ல் கணக்கிடப்பற்ற ராடார் ஆற்றல்

இவ்வமைப்பின் எடுத்துக்காட்டாக இரு நிலைகள் ஆராய்ந்து முடிவு செய்யப்பட்டுள்ளன. இம் முடிவுகள் படம் 25·13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. மிருதுவற்ற தளப்பரப்பு அமைப்பு முறையில் 38 *Mc*/ விநாடி-ல் கணக்கிடப்பட்ட ராடார் ஆற்றல் எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலை $10^6$ டிகிரி கதிர்கள் ஒளிவட்டத்தில் நேர் கோட்டுப் பாதையில் செல்வதாகக் கொள்ளப்பட்டது. *A*, *B* வளைகோடுகள் ஓரலகு வீழ்ச்சிப் பரப்பு எதிரொளிப்பு 1 எனக் கொண்டும் *c* வளைகோட்டிற்கு $\cos^2 i$ எனக் கொண்டும் வரையப்பட்டன.

ஒரு மில்லியன் டிகிரி வெப்பநிலைக்கும், இரு நிலைகளில் பொட்டாஷ் அடர்த்திக்கும், உட்கவர்தல் கணக்கிடப்பட்டது. இவ்விரு நிலைகளிலும் பூமியிலிருந்து கதிர்கள் நேர் கோட்டுப் பாதையில் ஒளிவட்டத்தை ஊடுருவிச் செல்வதாகக் கொள்ளப் பட்டது. பிறகு ஓரலகு வீழ்ச்சிப் பரப்பினுல் (projected area) எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றல் 1-க்கோ அல்லது $\cos^2 i$-க்கோ நேர் விகிதத்தில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டது. எதிரொளிக்கும் பரப்பு, திரும்பற் புள்ளிகளின் நியமப் பாதையில் அமைக்கப் பட்டால், பின் அதிக அளவு விளிம்புப் பொலிவு இருக்கும். இந் நிலைகளுக்குக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி மெலிதல் கணக்கிடப்பட்டது.

$$\tau = R_{\odot} \int_{\rho\ \text{சிறுமம்}}^{\infty} \frac{K\rho\, d\rho}{\sqrt{\rho^2 - a^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (24)$$

இவ்வமைப்பின் அடிப்படையில் எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றல், ஒளிப்புரைப் பருமனுக்குச் சமமான வட்டத்தில் ஏறத்தாழச் சமமாகப் பங்கிடப்படவேண்டும். இம் மாதிரி அமைப்புகளில் எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றல் கணிசமான அளவு பரவலாக வர வேண்டும் என்றும் கூறப்படுகிறது. சூரியனின் சுழற்சியினுல் இந்த அமைப்பின் அடிப்படையில் அதிர்வெண் பரவலையும் (frequeucy smear) விளக்கமுடியும். இருப்பினும், மேலே கூறியபடி 38 *mc*/விநாடி-ல் சூரியச் சுழற்சியினுல் டாப்ளர் விளைவு 2 *Kc*/ விநாடி-க்கும் குறைவாக இருக்கவேண்டும். இது உண்மையாக அறியப்படுவதைவிட அதிகமாக உள்ளது. எனவே இம் மாதிரி அமைப்பும் திருப்தியாக இல்லை.

**நிலையற்ற - சிதறல் அமைப்பு** (Random Scattering model)

இம் மாதிரி அமைப்பில் ஒளிவட்டம், மிகச் சிறு எலக்ட்ரான் அடர்த்தி வேறுபாடுகள் நீங்கலாகக் கோளச் சமச்சீர் உடையதாகக்

கருதப்படுகிறது. சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலப் பின்ன மாறுபாடு (root mean square fractional variation) $\frac{\Delta N}{N}$ சிதறடிக்கும் பகுதி முழுதும் ஒரு மாறிலியாகக் கொள்ளப்படுகிறது. எதிரொளிக்கப்படும் திறன், மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி $\epsilon$-ன் சராசரி இருமடி மாறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருப்பதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. இதனை கேலட் (Gallet) என்பார் 1955-ல்,

$$\overline{\left(\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}\right)^2} = \overline{\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2} \left(\frac{X}{1-X}\right)^2$$

என்று கண்டுபிடித்தார். சுழி ஒளி விலகல் எண்ணிற்கருகில் சாரா மாறி (parameter) ஒன்றின் (unity) மதிப்பை அடைகிறது. எனவே சிதறல் நிகழ் தகவு (scattering probability) மிகவும் அதிகமாகிறது. கோளச் சமச்சீரான ஒளி வட்டத்திற்கு உள்ளதைப்போல் ஆற்றல் கதிர்ப் பாதைகளில் திசையைப் பின்பற்றுவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. இப்பாதையின் $dl$ நீளமுள்ள கூறுகளில் சிறிதளவு சிதறல் நிகழ்கின்றது. பூமியின் திசையில் சிதறலினாலும், உட்கவர்வதினாலும் ஆற்றல் இழக்கப்படும் தகவு,

$$\frac{ds}{dl} = -CS\left(\frac{X}{1-X}\right)^2 - KS \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (25)$$

இங்கு,

$S$ — பாதையில் $l$ தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் படும் ஆற்றல்

$K$ — உட்கவர் எண்

$C$ — ஒரு மாறிலி

இப்பொழுது $l$ என்ற பாதையின் வழியாகச் சிதறலினால் பூமிக்குத் திருப்பப்படும் ஆற்றல் $E$

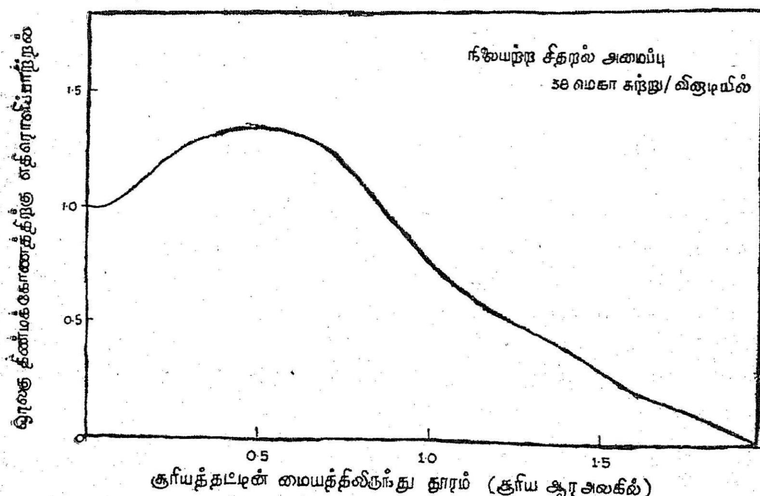
$$\frac{dE}{dl} = C\left(\frac{X}{1-X}\right)^2 Se^{-\tau'} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (26)$$

இதில் சமன்பாடு (25)-லிருந்து $S$-க்குப் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$\frac{d\epsilon}{dl} = C\left(\frac{X}{1-X}\right)^2 exp\left\{-\tau - \tau' - \int_{-\infty}^{l} C\left(\frac{X}{1-X}\right)^2 dl\right\} \quad (27)$$

இங்கு $\tau, \tau'$ என்பவை செல்லும் பாதை, திரும்பிவரும் பாதை ஆகியவற்றின் வழியே ஒளியியல் ஆழமாகும்.

ஓரலகுத் திண்மக் கோணத்திற்கு உள்ள எதிரொளிப்பு ஆற்றலுக்கும், சூரிய வட்டத்தின் மையத்திலிருந்து உள்ள தொலைவிற்கும் வரையப்பட்ட வரைகோடு, படம் 25·14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



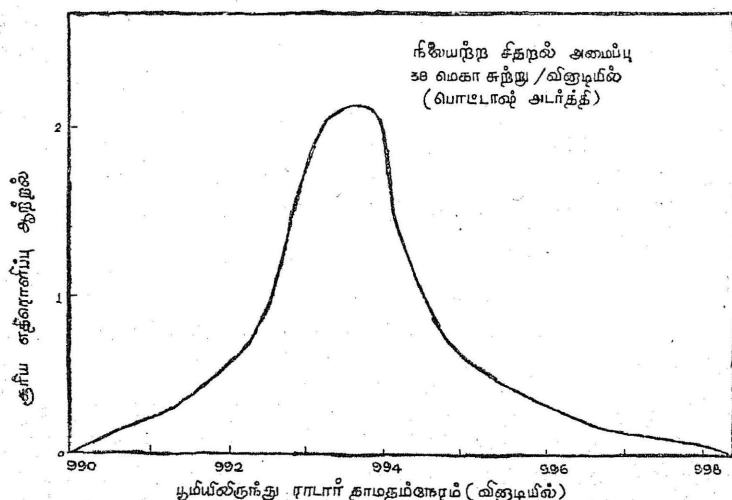

படம் 25·14.

சூரியத்தட்டின் குறுக்கே எதிரொளிக்கப்பட்ட ராடார் ஆற்றல்

ஓரலகு, திண்மக்கோண எதிரொளிப்பு ஆற்றலுக்கும், ராடார் தாமத நேரத்திற்கும் வரையப்பட்ட வரைகோடு, படம் 25·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பொட்டாஷ் அமைப்பின் எலெக்ட்ரான் அடர்த்திக்கும் வெப்ப நிலைக்கும் 38 மெகா சுற்றுகள் / விநாடி-க்குக் கணக்கிடப் பட்டுள்ளது. $C$ என்ற மாறிலிக்கு $10^{-9}$/மீட்டர் என்ற மதிப்பு கொடுக்கப்பட்டது. கால தாமதங்களும் மெலிதலும் சமன்பாடுகள் (21), (22) ஐப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. படம் 25·15-ல் காலதாமத அளவுகோல் (time delay scale) பூமிக்கும் சூரியனுக்கும் உள்ள தொலைவு வானியல் அலகாக இருக்குமாறு சரி செய்யப்பட்டது. பதிவு செய்யப்பட்ட எதிரொளிப்புகளில் கால அளவுகோல் இவ்வாறு சரி செய்யப்பட்ட

பொழுது பெரும்பாலான ஆற்றல் 993·4 வினாடிகளுக்கும், 995·1 வினாடிகளுக்கும் இடைப்பட்ட தாமத நேரத்தைப் பெற்றிருந்தது.




படம் 25·15.

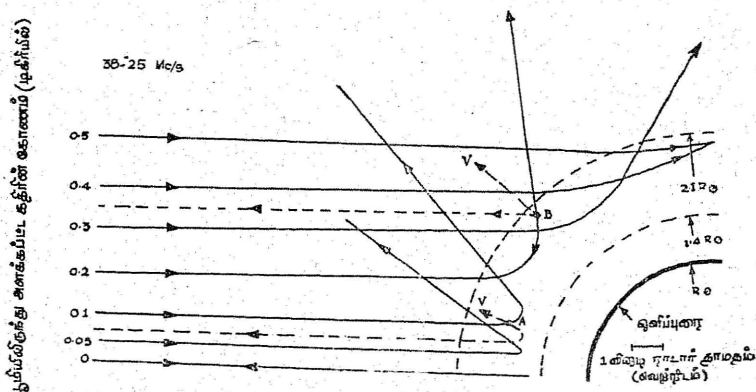
காலதாமதத்துடன் சூரிய எதிரொளிப்பு ஆற்றல் மாறும் வீதம்

இம்மாதிரி அமைப்பில் உள்ள இடையூறு, $C$ என்ற சாராமாறியின் தேர்வாகும். இந்தச் சாராமாறி, பருமன், அடர்த்தி, உருவம், அநேக ஒழுங்கற்ற தன்மைகள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருக்கும். ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமமான விட்டத்தையுடைய ஒழுங்கற்ற பரப்புகளிலிருந்தும் சிதறல் நிகழக்கூடும் என்பதை இவ்வமைப்பு வலியுறுத்துகிறது. ஆனால் இத்தகைய பருமனையுடைய ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் ஒளி வட்டத்திலில்லை. ஒளி வட்டத்தில் உள்ள சூடான ஹைடிரஜன் பிளாஸ்மாவின் பாகுநிலை (viscosity) சாப்மென் (Chapman) என்பவரால் 1954-ல் $\mu \approx 1\cdot2 \times 10^{17}\ T^{\frac{5}{2}}$ கிலோ கிராம்/மீட்டர்/வினாடி எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. 10 மீட்டர் நீளத்திற்கும், $2 \times 10^{6}\ {}^{\circ}K$-க்கும், 100 கி. மீ./வினாடி திசை வேகத்திற்கும், $1\cdot7 \times 10^{-27}$ கி. கிராம்/மீட்டர் அடர்த்திக்கும் மேலே கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து ரேனால்டு எண் $R \approx \triangle\, lv\, \dfrac{d}{\mu} \approx 10^{-6}$ என்று பெறப்படுகிறது. இது பலவீனமான சிதறலுக்குத் தேவையான மிகச் சிறிய ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் இருக்க முடியாது என்பதைக் கூறுகிறது. இவ்விதமான காந்த

இயல்பற்ற கொந்தளிப்புக் கோட்பாட்டிற்குத் (non-magnetic turbulence theory) தேவையான, ஒழுங்கற்ற பரப்புகளின் பருமன் 10,000 கி. மீ. அல்லது அதற்கு அதிகமாக இருக்க வேண்டும். இது உயர்மட்ட அடுக்க ரேடியோ அலைகளுடன் ஒப்பிடப்படும்பொழுது மிகவும் அதிகமாகும். சிதறல் நிகழக் கூடிய ஒளி வட்ட இடைவெளிகள் 10,000 கி. மீ.-க்கும் அதிகமாக இருக்கக் கூடும். எனவே, இவ்வமைப்பு தள்ளப்படத்தகாத அளவுக்குச் சிதறலையும் தோற்றுவிக்கும். மேலும், பாய் பொருள் காந்த அதிர்ச்சி அலை முகப்புகள் (hydro-magnetic shock wave fronts) பலவீனமான சிதறலுக்குத் தேவையான மிக அதிகமான ஒழுங்கற்ற பரப்புகளை உண்டாக்கக் கூடும் என நம்பப்படுகிறது.

### நிலையற்ற - எதிரொளிப்பு மாதிரி அமைப்பு (Random-reflection model)

இவ்வமைப்பில் ஒளி வட்டத்தில் மிக அதிகமான அடர்த்தியான ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் கோளச் சமச்சீருடைய பிளாஸ்மாவில் பதிக்கப்பட்டுள்ளதாகக் (embedded) கருதப்படுகிறது. இந்த ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் நேர்க்குறி (positive) அல்லது எதிர்க் குறி (negative) ஆரக்கால் திசை வழியே ஓர் ஒழுங்கான முறையிலோ அல்லது ஓர் ஒழுங்கற்ற முறையிலோ நகர்ந்து செல்கின்றன. கணக்கீடுகளை எளிதாக்குவதற்காகப் பன்முக எதிரொளிப்புகள் (multipie reflection) இல்லை என்றும், ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் திசை

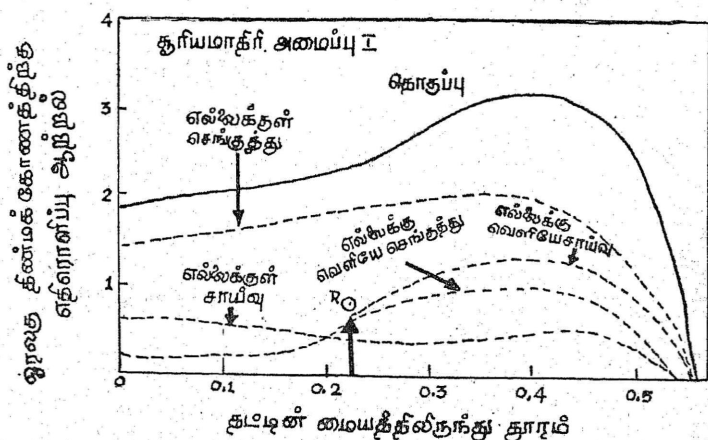



படம் 25·16.

ஆலென் அடர்த்தியுடன் ஒரு கோளச் சமச்சீர் ஒளிவட்டத்தினுல் கணக்கிடப்பட்ட ஒளிப்பாதைகளும், மற்ற எதிரொளிப்புப் பாதைகளும்

யொப்புப் பண்பியலான (isotropic) எதிரொளிப்பு மையங்கள் என்றும் கொள்ளப்படுகின்றன. உண்மையான ஒளி வட்டத்திற்கு இந்தத் தற்கோள்கள் அநேகமாகப் பொருந்தா. ஆனால் முடிவுகள் பண்பியலான முறையில் (qualitatively) சரியாக இருக்கும். படம் 25·16-ல் காட்டியுள்ளபடி ஆற்றல் ஒவ்வோர் எதிரொளிப்புப் புள்ளியிலிருந்தும் பூமிக்கு இரு சாத்தியமான பாதைகளினூடே திரும்பக் கூடும். ஆலென் அடர்த்தியுடன் ஒரு கோளச் சமச்சீர் ஒளி வட்டத்தில் கணக்கிடப்பட்ட ஒளிப் பாதைகளும், நிலையற்ற எதிரொளிப்பு அமைப்பில் $1 \cdot 4\ R_\odot$-க்கும் $2 \cdot 1\ R_\odot$-க்கும் இடையில் $v$ ஆரத்திசை வேகத்தில் நகரும் ஒழுங்கற்ற பரப்பில் $(A, B)$ நிகழ்வதாகக் கொள்ளப்படும் எதிரொளிப்புகளும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

சமன்பாடுகள் 21·22-ன் அடிப்படையில் ஆலென் அடர்த்திக்கும் ஒரு மில்லியன் டிகிரி வெப்ப நிலைக்கும், தாமதக் காலங்களும் மெலிதலும் ஒவ்வொரு கதிருக்கும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளன. இம் மாதிரி அமைப்பின் முடிவுகள் படங்கள் 25·17, 25·18 ஆகியவற்றில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

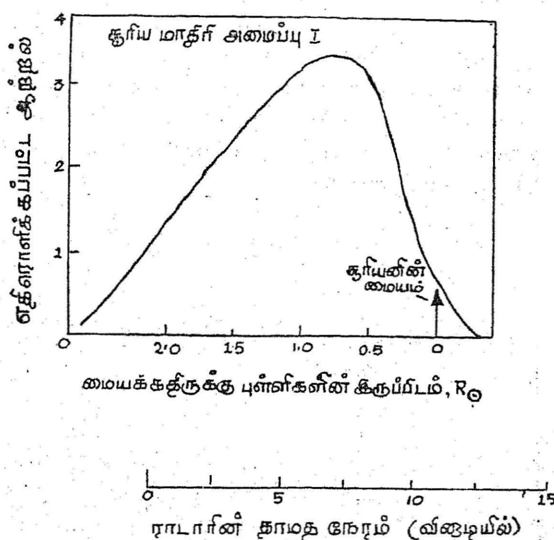



படம் 25·17

*நிலையற்ற எதிரொளிப்பு அமைப்பிற்குச் சூரியத்தட்டின் குறுக்கு எதிரொளிப்பு ராடார் ஆற்றல்*

இப்பொழுது மேலே கூறப்பட்ட பல்வேறு அமைப்புகளை ஒப்பு நோக்குவோம். முதலில் கூறப்பட்ட வழவழப்பான கோளச் சமச்சீர் ஒளிவட்டத்தை உண்மைக்கு வெகு புறம்பானது என

ஒதுக்கிவிடலாம். இரண்டாவதாகக் கூறப்பட்ட மிருதுவற்ற பரப்பமைப்பு, சில சோதனை முடிவுகளுடன் எதிரொளிப்பின் தொலைவுப் பங்கீடு, கோணப் பங்கீடு ஆகியவற்றைப் பொருத்த வரையில் பொருந்துகின்றது. ஆனால், மேலே கூறியபடி அவை, டாப்ளர் பரவலை முன்கூட்டி அறிவிக்கவில்லை. கொந்தளிக்கும் கடலின் பரப்பைப் போலவோ அல்லது காற்றில் அசைகின்ற ஒரு கொடியின் பரப்பைப் போலவோ ஒரு வட்டத்தின் பரப்பு மாறுவதாகக் கொண்டு டாப்ளர் விளைவை விளக்கத்தக்க முறையில் இவ்வமைப்புகளை மாற்றியமைக்கலாம். ஒரு மிருதுவற்ற பரப்பமைப்பையும் ஓர் ஒழுங்கற்ற அமைப்பையும் இணைத்து மிகவும் திருப்திகரமான ஓர் எதிரொளிப்பு அமைப்பை உருவாக்கலாம்.




படம் 25·18

மையக் கதிருக்குப் புள்ளிகளின் இருப்பிடம் $R_\odot$ அறிதல்.

கிரகணத்தின் பொழுது எடுக்கப்பட்ட சூரிய ஒளி வட்டத்தின் நிழற்படங்கள் சிக்கலான உள்வளைவு அமைப்பை (pin cushion structure) இயம்புகின்றன. ஆகவே அலைகளின் திருப்பம் ஓர் அதிகமான ஒழுங்கற்ற பரப்பிலிருந்து வருவதைப்போல் கொள்ள வேண்டும். மேலும், பரப்பின் அமைப்பானது ஒரு கடுமையான இயக்கத்தைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். அப்பொழுது தான் சூரிய ராடார் எதிரொளிப்புகளில் தோன்றும் டாப்ளர் விளைவை

விளக்க முடியும். பிராண்ட் (Brandt) என்பவர், 1964-ல் சில மிருதுவற்ற பரப்பையுடைய சூரிய அமைப்புகளைப் பற்றிக் கவர்ச்சிகரமான செய்திகளைத் தந்தார். அவருடைய அமைப்பு IIb எனப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் ஒளி வட்டம் சில பரப்புகளில் (மொத்தப் புறப் பரப்பில் $\frac{1}{8}$ பகுதி) விரிவடைகிறது; விரிவடையும் பிளாஸ்மாவில் ஒழுங்கற்ற பரப்புகள் பதிக்கப்பட்டுள்ளன. இம் மாதிரி அமைப்பு மிருதுவற்ற பரப்பு எதிரொளிப்பு "ப்ளாப் சிதறல்" (blob scattering) ஆகியவற்றின் ஏற்கக் கூடிய கூட்டமைப்பு எனக் கொள்ளலாம்.

### 70 மெகா சுற்றுகளுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்களில் எதிரொளிப்புகள்

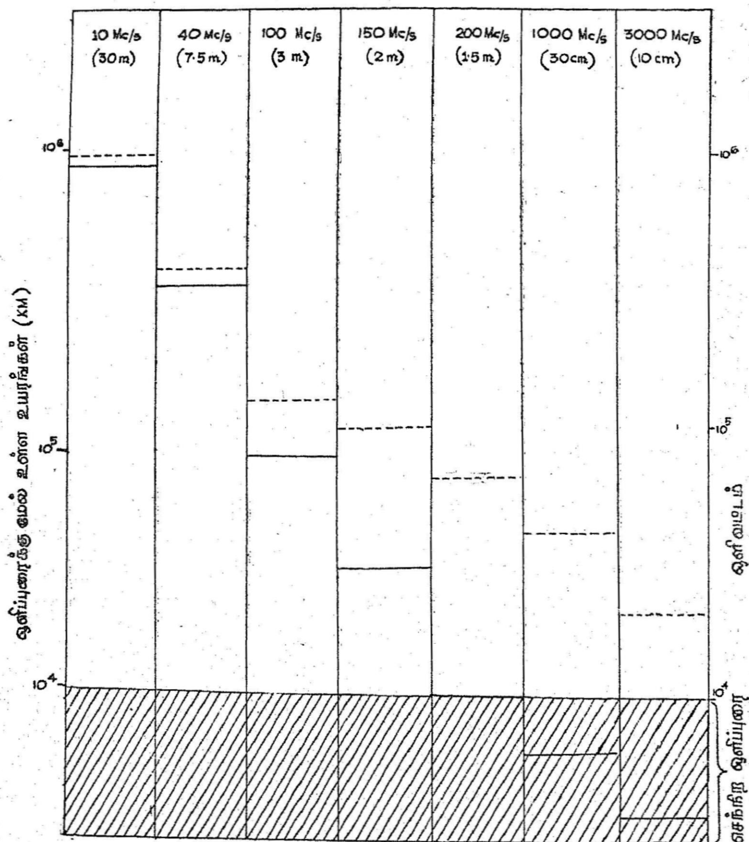
இதுவரை 70 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்ணுக்குக் கீழே நடைபெற்ற ஆராய்ச்சிகளைப் பற்றிப் பார்த்தோம். அதிக அதிர்வெண்களில் ஒளிவட்டத்தின் ராடார் அலை ஊடுருவிச் செல்லும் தூரமும் மெலிதலும் அதிகமாகின்றன. மேலும் பிளாஸ்மா மட்டத்தில் ($X = 1$ என்ற பகுதியில்) அதிக விழுக்காடுள்ள முழு அளவு மெலிதல் நிகழ்கின்றது. ஏனெனில் எலெக்ட்ரான் அடர்த்தியில் ஒரு மாறுதல் ஏற்படுகின்றது. மேலும் கீழ் ஒளிவட்ட மட்டங்களில் வெப்பநிலை குறைகிறது.

காந்த அயனி ஊடகத்தில் (magneto ionic medium) ராடார் அலை இரு சிறப்பியல்புகளையுடைய தள விளைவுற்ற அலைகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. அவை, சாதாரண அலைகள், அசாதாரண அலைகள் (ordinary waves and extra-ordinary waves) எனப்படும். இவை வெவ்வேறு திசை வேகங்களில் பரவி வெவ்வேறு அளவிற்கு உட்கவரப்படுகின்றன. சாதாரண அலைகளுக்கு $\gamma << \omega$ ஆக இருக்கும்பொழுது $X = 1$ ஆகும்பொழுதும், அசாதாரண அலைகளுக்கு $\gamma << \omega$ ஆக இருக்கும்பொழுது $X = 1 - y$ ஆகும்பொழுதும் எதிரொளிப்புகள் நிகழ்கின்றன. இங்குச் சாராமாறி $Y$, காந்தப் புலச் செறிவு $H$-க்கு நேர்விதிதத்திலுள்ளது.

$$Y = \frac{\mu_0 \, eH}{m\omega} \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறு காந்தப்புலம் இருக்கும்பொழுது அலையின் அசாதாரணக் கூறு ஒளி வட்டத்தின் உயர் மட்டத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்படுகிறது. பாசி (Pawsey), ஸ்மெர்டு (Smerd) ஆகியோர் ஒரு பெரிய சூரியப் புள்ளிக்குமேல் (3600 காஸ்) வெவ்வேறு அடுக்கங்களில் எதிரொளிக்கும் மட்டங்களைக் கணக்கிட்டுள்ளனர். அவர்களின் முடிவுகள் படம் 25·19-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

காந்தப் புலம் இருக்கையில் மெலிப்பான் எண் (attenuation coefficient) காந்தப் புலம் இல்லாதபொழுது அதே புள்ளியிலுள்ள மெலிப்பான் எண்ணை விடச் சிறிதளவு அதிகமாகவோ அல்லது கணிசமான அளவு அதிகமாகவோ இருக்கலாம். காந்தப் புலச் செறிவையும், காந்தப் புலத்தைப் பொறுத்து ஆற்றல் பரவும் திசையையும்




படம் 25·19

சூரிய வளிமண்டலத்தில்—சுழி ஒளி விலக்க எண் மட்டங்கள்

பொறுத்து மெலிதலின் அளவு அமையும். சூரியப் புள்ளிகளுக்கு அருகே மிகவும் வலிமை வாய்ந்த காந்தப் புலங்களினால் (ஏறத்தாழ 100 காஸ்கள் அல்லது அதற்கு மேல்) மிக அதிகமான உட்கவர்தலுக்குப் பிறகு 400 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-அதிர்வெண்ணை

யுடைய ராடார் அலைகள் எதிரொளிக்கப்படும் என கோஹென் (Cohen) 1960-ல் கூறினர். ஒளிப்புரையில் 1500 காஸ்களை ஏற்படுத்தி ஒளிப்புரைக்குக் கீழ் $0\cdot2\ R\odot$ தூரத்தில் அமைந்த ஓர் இரு முனையைக் கொண்டு ஓர் இரு முனைப் புலத்தின்மேல் 400 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்ணில் ராடார் குறுக்குப் பரப்பை ஹாப்ஸ் (Hobbs) 1960-ல் கணக்கிட்டார். அசாதாரணக் கதிர்களுக்கு மட்டும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $0\cdot8\ e^{-4\cdot6}\ \pi R^2\odot$ அல்லது ஒளிப்புரையின் வீழ்ச்சிப் பரப்பைவிட 20 *dbs* குறைவு என அவர் கணக்கிட்டார். இதைவிட அதிகமான அதிர்வெண்களில் ராடார் எதிரொளிப்புகள் இதுவரை பெறப்படவில்லை. ஆனால் சூரியப்புள்ளி பெருமத்தின்போது இத்தகைய எதிரொளிப்புகள் பெறப்படலாம். உயர் அதிர்வெண்களில் டாப்ளர் பரவலும் அதிகமாக இருந்தாக வேண்டும். காட்டாக 400 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்ணில் டாப்ளர் விளைவு 0·5 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி இருக்கலாம்.

**சோதனைகளும் அவற்றின் முடிவுகளும்**

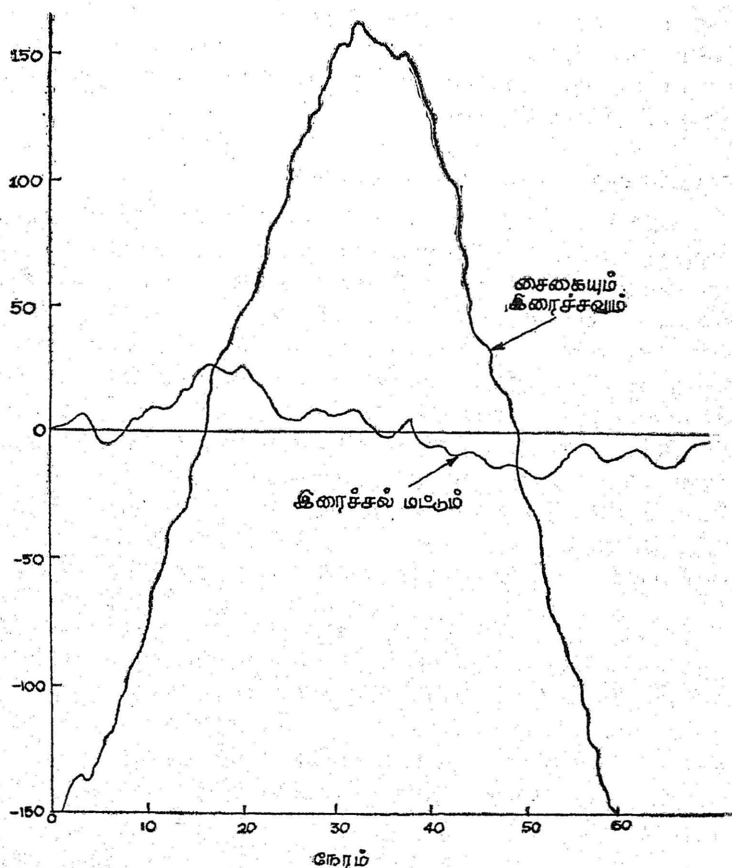
1959-ல் ஸ்டேன்ஃபோர்டு பல்கலைக்கழகத்தில் சூரியனிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்புகள் முதன் முதலில் பெறப்பட்டன. ராடார் அமைப்பில் 25·6 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (11·7 மீ.)-ல் இயங்கிய 40 கிலோ வாட் பரப்பியும், 4 சாய்சதுர அமைப்புகள் அடங்கிய பக்கவாட்டு அணியும் 14 ஏக்கர் நிலத்தில் இருந்தன. 15 நிமிடங்களுக்கு 30 விநாடி இடைவெளியில் பரப்பித் துடிப்பு மாறிமாறி அனுப்பப்பட்டு நிறுத்தப்பட்டது. இந்த 15 நிமிடம், ராடார் சைகை சூரியனை அடைந்து திரும்பி வருவதற்கான நேரத்தைவிடச் சிறிது குறைவாகும். ஒவ்வொரு துடிப்பின் போதும் 40 கிலோவாட் உள்ள தொடர் அலைத்திறன் அனுப்பப்பட்டது. பரப்பி நேரத்தின் 15 நிமிடத்தின் இறுதியில் பரப்பி துண்டிக்கப்பட்டு ஆன்டென்னா ஏற்பியுடன் இணைக்கப்பட்டது.

பெறப்பட்ட சைகை பெருக்கப்பட்டு, வடிகட்டப்பட்டு, அதிர்வெண்ணுக மாற்றப்பட்டு ஒரு காந்த நாடாவில் சைகையின் பட்டை அகலம் 2 கிலோ சுற்றுகள்/விநாடியாக இருந்தது. இப்பட்டையின் கீழ்ப் பகுதி சுழி அதிர்வெண்ணில் இருந்தது. எதிரொளிக்கப்பட்ட ஆற்றல், இரைச்சல் ஆற்றலை விட மிகக் குறைவாக இருந்தது. இரைச்சல் ஆற்றல், காஸ்மிக் இரைச்சலால் வருவதாகும்.

எதிரொளிப்பு உள்ளதா இல்லையா என்பதையறிய சைகையை மேலும் பகுக்கும் முறை தேவைப்பட்டது. இவை கம்ப்யூட்டர்களைப்

பயன்படுத்தி ஒரு விநாடிக்கு 400 கூறுகளாக மாற்றப்பட்டு, பின்னர் ஒவ்வொரு விநாடிக்கும் தொகுக்கப்பட்டன. இச் சோதனையின் முடிவுகள் பின்வருமாறு :

சூரிய எதிரொளிப்புடன் கூடப் பெறப்பட்ட காஸ்மிக் இரைச்சல், அண்டம், சூரியன் ஆகியவற்றால் உண்டானதாகும். ஒவ்வொரு நான்கு பகுதி அண்ட இரைச்சலுக்கும் ஒரு பகுதி சூரிய இரைச்சல் அறியப்பட்டது. ஏப்ரல் மாதத்தில் சூரியனின் திசையில் அண்டவெளி இரைச்சலானது 38 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்ணில் $10^{-19}$ வாட்டுகள்/சுற்று/விநாடி என அளக்கப் பட்டது (படம் 25·20).




படம் 25·20.

இரைச்சலில் சோதனைச் சைகைகளின் முறைப் பொறுத்தல் கோடுகள்.

அண்டவெளி ரேடியோக் கதிர் வீசலின் செறிவு, அதிர்வெண்ணை $f^{-2.3}$ என்ற முறையில் சார்ந்திருந்தது. எனவே ஸ்டேன்ஃபோர்டு சோதனையில் 26 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-ல் இரைச்சல் $3 \times 10^{-19}$ வாட்டுகள்/சுற்று/வினடி. எனக் கணக்கிடப்பட்டது. சூரிய இரைச்சல் வெடிப்புகளால் சுற்றுப்புற இரைச்சல்கள் அதிக அளவு உயர்ந்தன. ஆனால் இவ் விளைவு இங்குத் தள்ளப்பட்டு விட்டது. ஸ்டேன்ஃபோர்டு ஆன்டென்னவினல் பெறப்பட்ட எதிரொளிப்பு இரைச்சல் மட்டத்தை விட 23 *dbs* குறைவாக இருப்பதாக அல்லது $1 \cdot 5 \times 10^{21}$ வாட்டு/சுற்று/வினடி என்று கணக்கிடப்பட்டது. ஏற்பியிலுள்ள வடிகட்டி அதிர்வெண் பட்டை (band pass filter) 2 கிலோ சுற்றுகள்/வினடி அகலம் இருந்தமையால் சமன்பாடு (1)-ல் (ராடார் சமன்பாடு) $P_r$-க்குப் பதிலாக $3 \times 10^{-18}$ வாட்டுகள் என்ற மதிப்பைப் பயன்படுத்தலாம். பரப்பியின் வெளிவரு திறன் $P_t$-க்குப் பதிலாக $4 \times 10^4$ வாட்டுகள் மதிப்பைப் பயன்படுத்தலாம். [ஆன்டென்ன, ஊட்டுக் கம்பி அமைப்பு (feed-line system) ஆகியவற்றில் ஏற்படும் இழப்புகள் இங்கு நிராகரிக்கப்பட்டு விட்டன.] சோதனையின் பொழுது பூமிக்கும் சூரியனுக்கும் உள்ள தொலைவு $1 \cdot 497 \times 10^{11}$ மீட்டர்களாக இருந்தது. ஆன்டென்ன இலாபம் 316 ஆக இருந்தது. இம் மதிப்புகளுக்குச் சூரியக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $S = 1 \cdot 1 \times 10^{19}$ சதுர மீட்டர்களாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. இது ஒளிப்புரையின் வீழ்ச்சிப் பரப்பைப் போல் 7 மடங்காகும். ஆன்டென்னவின் இழப்புகளையும் ஊட்டுக் கம்பியின் இழப்புகளையும் சூரிய இரைச்சல் வெடிப்புகளையும் தள்ளாமல் இருந்தால் இவ்வெண் இன்னும் அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, கணக்கிடப்பட்ட குறுக்கு வெட்டும் அதிகமாக இருக்கும். பயன்படுத்தப்பட்ட வடிகட்டி அதிர்வெண் பட்டை அதிகமாக இருந்தாலும் இப் பரப்பு அதிகமாக இருக்கும்.

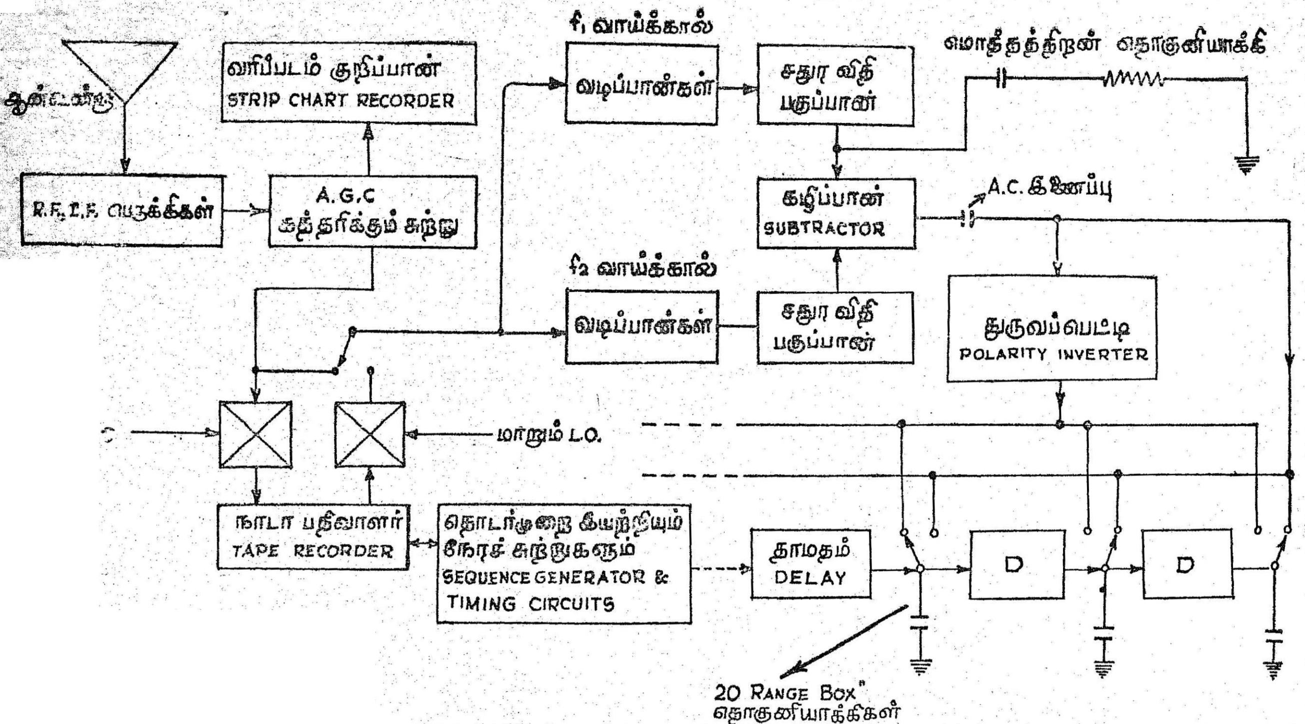
சூரிய ராடார் சோதனைகள் ஸ்டேன்ஃபோர்டு பல்கலைக் கழகத்தில் 1959 செப்டம்பரிலும் நடத்தப்பட்டன. ஆன்டென்னுக்கள் இயங்காமையால் இச் சோதனைகளின் முடிவுகள் தொடக்கத்தில் வெளிவிடப் படவில்லை. ஆனல், பார்த்லே (Barthle) 1960-ல் சூரிய எதிரொளிப்புகள் இருந்தன என நிறுவினர்.

சூரியனைப் பற்றிய ராடார் ஆராய்ச்சிகள் டெக்ஸாஸில் எல்கேம்போவிற்கு அருகில் *MIT*-ல் 1961 ஏப்ரலில் நடத்தப்பட்டன. இந்த இடம் 29°-க்குச் சரியான கீழ் அட்ச ரேகைக் கோட்டிலிருந்ததால் ரேடியோ குறுக்கீடுகளினல் பாதிக்கப்படாமலிருந்தது. மேலும், கருவிகள் அமைக்கப்பட்ட இடம் மிகப் பெரிதாக இருந்தமையால் பெரிய ஆன்டென்ன அமைப்பை

ஏற்படுத்த முடிந்தது. இந்த ராடார் அமைப்பில், ஒரு சக்தி வாய்ந்த தொடர் அலைப் பரப்பியும், ஒரு பெரிய ஆன்டென்னுவும், ஓர் உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்த ஏற்பியும், முடிவுகளைப் பகுக்கும் கருவிகளும் இருந்தன. பரப்பி 38·25 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் இயங்கி, ஆன்டென்னுவிற்கு 480-லிருந்து 500 வரை கிலோ வாட்டுகள் திறமையுடைய தொடர்ச்சியான சைகை அலையைக் கொடுக்கிறது.

ஆன்டென்னு 1016 அரை அலை இரு முனைகளைக் கொண்டு தரையிலிருந்து ஒரு கால் அலை உயரத்திற்கு மேல் அமைக்கப் பட்டது. அதன் துளை, வடக்கு-தெற்கு திசையில் நீண்டதாக இருந்தது; ஒரு விசிறி அமைப்பான (fan-shaped) கற்றையை உண்டாக்கியது. சூரியன் கற்றையின் அகன்ற திசையில் ($E$-$W$) சோதனைகளின் பொழுது இயங்கியது. கற்றையை அனுப்பும் பொழுதோ அல்லது பெறும் பொழுதோ அசைக்க வேண்டிய தில்லை. எனினும், ஒதுக்கக் கோணம் மாறும் பொழுது ஆன்டென்னுவை 3-லிருந்து 30 நாட்களுக்கு ஒரு தடவை சரி செய்ய வேண்டும். இச் செயல், ஊட்டுக் கம்பியின் நீளத்தினை 1016 இரு முனைகளில் ஒவ்வொன்றுக்கும் சரி செய்வது மூலம் செய்யப்பட்டது. சூரியன் ஆன்டென்னுக் கற்றையின் குறுக்கே சென்ற பொழுது காட்சிப் பதிவுகள் எடுக்கப்பட்டன. இந்த நகர்வு வீதம் (drift rate) ஒரு மணிக்கு 15° ஐ விடச் சிறிது குறைவாகும். மேலும் 6·5° கிழக்கு-மேற்கு கற்றை அகலம் ஒரு நாளைக்கு ஒரு முறை ஆற்றலை அனுப்பப் போதுமானது. சூரியனின் பாதையும், கிழக்கு மேற்கு அச்சும் வானக் கோளத்தில் வட்டத் தின் விற்களாகும். இவ் வட்டங்களின் மையங்கள் வட துருவத்திலும் தென் அடிவானத்திலும் உள்ளன. பரப்பியைக் கொண்டு துடிப்புகள் அனுப்பப்பட்டும், சிறிது நேரம் நிறுத்தப் பட்டும், மீண்டும் அனுப்பப்பட்டும் இருந்தன. பரப்பி நேரம் 16-லிருந்து 17 நிமிடங்கள் வரை இருந்தது. அதாவது, அலை சூரியனுக்குச் சென்று திரும்பி வருவதற்கான நேரத்திற்கு இது சமர். இதற்குப் பிறகு பரப்பி துண்டிக்கப்பட்டு ஆன்டென்னு ஏற்பியுடன் உடனடியாக இணைக்கப்பட்டது. எதிரொளிப்புகள் 16 அல்லது 17 நிமிடங்களுக்குப் பெறப்பட்டன. அலை, சூரிய னுக்குச் சென்று வரும் நேரம் மாறுபட்டுக் காணப்பட்டது. இதன் சிறும நேரம் ஜனவரியில் 977 விநாடிகளாகவும், பெரும நேரம் ஜூலையில் 1011 விநாடிகளாகவும் இருந்தன.

எதிரொளிப்புகளைப் பெறுவதற்கும் அவற்றைப் பகுத்தற்குமான ஒரு திட்டப்படம் (block diagram) படம் 25·21-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.




படம் 25·21.

எல்கேம்பில் உள்ள ஏற்பி அமைப்பின் திட்டப் படம்

பரப்பி, $f_1$, $f_2$ ஆகிய இரு அதிர்வெண்களில் இயங்கியதால் ஏற்பியின் வெளிவரு அளவும் இரு தனித்தனி வாய்க்கால் (channels) களாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு பரப்பப்பட்ட அதிர்வெண்ணிற்கும் இசைவிக்கப்படுகின்றது. ஒவ்வொரு வாய்க்காலில் உள்ள சைகையும் ஒரு வடிகட்டி அதிர்வெண் பட்டை வழியே ஒரு சதுர விதி திருத்திக்கு (square law rectifier) அனுப்பப்பட்டு பின் ஒரு கழிப்பான் சுற்றில் (subtractor circuit) உள்ள சைகையுடன் ஒப்பிடப்படுகிறது. கழிப்பான் சுற்றின் வெளிவரு அளவு, இரு வாய்க்கால்களிலும் உள்ள இரைச்சல் தொடர்பற்று இருப்பதால் பெரும்பாலும் மாறுபடும் கூறுகளால் அமைந்திருக்கும். இந்த மாறுபடும் இரைச்சல் கூறு ஒரு நல்ல ஏற்பியில் சராசரியாகச் சுழி மதிப்பைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள $Ac$ இணைப்பு ($Ac$ coupling) இந்தச் சராசரி மதிப்பைச் சுழியாவதை நிலை நிறுத்துகிறது. இந்த $Ac$ இணைப்பின் நேர மாறிலி (time constant), குறைந்தது அடிப்படைத் துடிப்பு இடைவெளி நேரத்தைப்போல் 40 மடங்காவது இருக்கவேண்டும். அப்பொழுதுதான் சுற்றுகள் சரியான முறையில் இயங்கும்.

சுழித்தல் சுற்றின் சூரிய எதிரொளிப்புக் கூறு, பரப்பியின் சைகையில் ஏற்படும் அதிர்வெண் மாறுதல்களுக்கேற்ப மாறிமாறி நேர்க் குறியும் (+), எதிர்க் குறியும் (−) உடையதாக இருக்கும். இவ்வாறு சுற்றுகளின் பல்வேறு பகுதிகளைச் சரி செய்து சுமார் 600 காட்சிப் பதிவுகள் எடுக்கப்படுகின்றன. இச் சோதனைகள் முழுதும் 1961 ஏப்ரலிலிருந்து 1964 மே முடிய சுமார் மூன்றுண்டுக் காலம் நடத்தப்பட்டன. மேற்கண்ட சோதனையின் மூலம் சூரியனின் தோற்றக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு காலத்தோடு மாறுபடுகிறது எனத் தெரிகிறது. ஆனால், இதைச் சோதனை மூலம் நேரடியாக நிரூபிக்க முடியவில்லை. ஏனெனில், பயன்படுத்தப்பட்ட ஆன்டென்னுவின் கோணப் பகுதிறன் மிகவும் குறைவாக இருந்தது. பூமியிலிருந்து சூரியனைச் சேர்க்கும் கோட்டிலுள்ள பிளாஸ்மா சில நேரங்களில் அடர்மிகுந்து ரேடியோ அலைகளை அவற்றின் பாதையிலிருந்து விலக்கி சூரிய இலக்கின் கோணப் பங்கீட்டில் ஒரு தோற்ற மாறுதலை ஏற்படுத்தியது. சூரிய இலக்கின் சராசரித் தொலைவு ஆழம் 1·6 வினாடிகள் அல்லது சூரிய ஆரத்தில் $\frac{1}{3}$ பங்காகும். இது 38·25 மெகா சுற்றுகள் வினாடி அதிர்வெண்களில் சூரியப் புள்ளிச் சிறுமத்திற்கு மட்டுமே பொருந்தும். இத் தொலைவு ஆழமும் காலத்தோடு 5 அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட மடங்கில் மாறுகின்றது. பெருமளவு ஆற்றல் எதிரொளிக்கப்பட்டு திரும்பி வருவதற்கான நேரமும் காலத்துடன் மாறுபடுகிறது. சில சமயங்களில் இது இரண்டு வினாடிகளுக்கும் அதிகமாக உள்ளது.

இதற்கு, ஒளிவட்டத்தின் உருவில் ஏற்படும் மாறுதலும் ஒளி வட்டத்தின் ஆழத்தில் ஏற்படும் மாறுதலும் அநேகமாக உட்கவர்தலில் ஏற்படும் மாறுதல்களும் காரணங்களாகும். சூரிய ராடார் எதிரொளிப்புகள் ஒளிவட்டத்திலுள்ள பல படித்தான (heterogeneous) பகுதிகளிலிருந்து வருவதாகக் கருதப்படுகிறது.

## சூரியக் காற்று (Solar wind)

ஒளி வட்டத்தில் பலவிதமான அலைவியக்கங்கள் (wave motions) அல்லது அலைவுகள் (oscillations) நடைபெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது. இவ்வலை இயக்கங்களினால் நிறை நிகர இடப் பெயர்ச்சியை அடைவதில்லை எனக் கருதப்படுகிறது. ஆயினும், டாப்ளர் பெயர்ச்சிப் பதிவுகள் இதைத் தப்பாக்குகின்றன. இத் தகைய அலை இயக்கங்கள் இருக்கலாம் எனவும் ஒரு சாரார் கருதுகின்றனர். அவ்வாறு அலை இயக்கங்கள் இருந்தால் அவை, ஒளிவட்டங்கள் வெளிப்படுத்தும் பொறியியல் முறையோடு தொடர்பு கொண்டிருக்கவேண்டும். ஒரு மாரு நேர்க் குறி டாப்ளர் இடப் பெயர்ச்சி (positive doppler shift) சூரியன் அமைதி நிலை களில் இருக்கும்பொழுதும், அமைதி குலைந்த நிலைகளில் (disturbed conditions) இருக்கும்பொழுதும் காணப்படுகிறது. இதனால் இவ் வலை இயக்கங்களை ஏற்படுத்தும் பொறியியல் முறை, வலிமை யுடைய காந்தப் புலங்களுடன் தொடர்பு கொண்டிருக்கவேண்டிய அவசியம் இல்லை. இந்த டாப்ளர் பெயர்ச்சி, அலை இயக்கங் களினாலோ அல்லது பிளாஸ்மா ப்ளாபுகள் (plasma blob) இயக்கங் களினாலோ அல்லது இவ்விரண்டினாலுமோ ஏற்படலாம். டாப்ளர் பெயர்ச்சிகள், பிளாஸ்மாவின் நிகர இயக்கங்களினால் உண்டா கின்றன என்று கற்பிதம் செய்துகொண்டும், அத்துடன் சில திருத்தங்களைச் செய்தும், கிடைக்கானும் குறிப்புகளை, ஓர் அனு மானிக்கப்பட்ட ஓர் அலை இயக்கத்திற்குக் கூற முடியும்.

சூரிய எதிரொளிப்புகளின் டாப்ளர் நிறமாலைகள் $\rho = 1 \cdot 4$ மட்டத்திற்கருகில் சூரியக் காற்று இருக்கிறது என்பதைக் காட்டு கின்றன. மிகச் சில விதி விலக்குகளைத் தவிர எல்லா டாப்ளர் நிற மாலைகளும் நேர்க் குறி அதிர்வெண்கள் பக்கம் ஏற்படும் பெயர்ச்சி களையே காட்டின. சூரியனின் மையத்திலிருந்து 1·8—30 சூரிய ஆரங்களின் இடைவெளிப் பகுதியில் நிகழும் எதிரொளிப்புகளைத் தவிர, மற்றப் பகுதி இடைவெளிகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகள் அதிகமான இடப் பெயர்ச்சிகளையே தந்தன. முன்பகுதி இடை வெளிகளில் அதிக டாப்ளர் இடப் பெயர்ச்சிகள் எதிர்பார்க்கப் படுகின்றன. ஆதற்கு இரு காரணங்கள் கூறப்படுகின்றன. (1) ஆரக்கால் திசையில் வெளிநோக்கிச் செயல்படும் இயக்கத்

திற்கு ஒரு முடுக்கம் இருக்கலாம். (2) விளிம்பை நோக்கி ஆரக்கால் இயக்கம் கொண்ட எதிரொளிப்பான்களுக்கும், கதிர்ப்பாதைகளுக்கும் இடையே உள்ள கோணம் 90° ஐ நெருங்கலாம்.

நிறமாலைகளின் உச்சத்தில் சராசரி மாற்றம் ஒரு வினாடிக்குச் சுமார் 4 கி. சு./வி. ஆக இருந்தது. இந்த அளவு முடுக்கத்தை 1960-ல் பார்க்கர் என்பவர் முன்னேடியாகக் கூறினர். அவர் ஒளி வட்டத்தின் வெப்பநிலை 2—3 மில்லியன் டிகிரிகள் என்று கற்பிதம் செய்துகொண்டு அவ்வொளி வட்டங்களின் வெப்பநிலை மாரு விரிவு (non-expanding) அடிப்படையில் கூறியிருக்கலாம். ஒரு மில்லியன் டிகிரி வெப்ப நிலையில் வினாடிக்குச் சுமார் $1\frac{1}{2}$ கி. சு./வி. டாப்ளர் மாற்றம் எதிர்பார்க்கப்பட்டது.

தொலைவுத் தாமதம் (range delay) 99·3 வினாடிகளுக்குக் குறைவாக இருக்கும்பொழுது சராசரி டாப்ளர் பெயர்ச்சியும் டாப்ளர் பரவலும் குறைந்தன. இது, இத்தொலைவில் வெளி நோக்குத் திசைவேகம் குறைகின்றது. 38·25 கி. மீ./வினாடி வேகத்தில் இயங்கும் ஓர் இலக்கு 1 கி. சு./வி. என்ற டாப்ளர் பெயர்ச்சியை உண்டாக்குகின்றது. எல்லா எதிரொளிப்பு ஆற்றலின் சராசரி டாப்ளர் பெயர்ச்சி சுமார் 4 கி. சு./வி. இருக்கிறது. அதாவது, ராடார் இருக்கும் திசையில் சுமார் 16 கி.மீ./வி. வேகத்தில் இயக்கம் உள்ளது என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ராடாருக்கு அருகில் உள்ள மட்டங்களில் செங்குத்து எதிரொளிப்பு நிகழ்ந்தால் எந்த ஆரக்கால் இயக்கமும் ஏறத்தாழ ராடார் திசையில்தான் இருக்கும். இதற்கான டாப்ளர் அகலம் உண்மையான ஆரத்திசை வேகத்தைத் துல்லியமாகக் கொடுக்கின்றது. இத்தகைய மட்டம் சுமார் $\rho = 1 \cdot 4$ தொலைவில் இருப்பதாகத் தெரிகின்றது. இம்மட்டத்தில் உச்ச டாப்ளர் பெயர்ச்சி 5 இலிருந்து 20 கி. சு./வி. வரை மாறுபடுவதால் இம்மட்டத்தின் சராசரி வெளிநோக்குத் திசைவேகம் 20 கி. மீ./வி.-க்கும் 80 கி. மீ./வி.-க்கும் இடையில் இருக்கலாம் எனக் கருதப்படுகின்றது. 1923-ம் ஆண்டு மூரி (Moore) என்பவர் சூரியக் கிரகணத்தின்பொழுது ஃபிரான்—ஹோஃபர் வரிகள் சிவப்புப் பகுதியை நோக்கி நகர்ந்த இடப்பெயர்ச்சியைக்கொண்டு ஆரக்கால் இயக்கம் சுமார் 26 கி. மீ./வி. திசைவேகம் இருக்கலாம் எனக் கணக்கிட்டார். இத் திசைவேகம் $\rho = 2 \cdot 25$ மட்டத்தில் ஏற்படுவதாகக் கூறினர். பார்க்கர், மூரி ஆகியோரின் முடிவுகள் 20—80 கி. மீ./வி. பகுதியில் ஒன்றையொன்று ஒத்திருந்தன. 20—80 கி. மீ./வி. வேகத்திலோ அல்லது அதற்குமேலோ நகர்ந்து செல்லும் ஒருவகை அதிர்ச்சி அலை முகப்புகளால் ராடார் அலைகள்

எதிரொளிக்கப்படுகின்றன எனக் கருதப்படுகிறது. எனினும் சூரியக் காற்றைப் பற்றி ஒரு தெளிவான முடிவுக்கு வர இன்னும் அதிகமான கோட்பாடுகளும் குறுகிய ஆன்டென்னுக் கற்றைகளை யுடைய பரிசோதனைகளும் தேவைப்படுகின்றன.

மிகையான டாப்ளர் விளைவு நிறை இயக்கத்தினுல் தோன்றக் கூடும். எல்லா எதிரொளிப்பு மையங்களும் இயங்கிக் கொண்டிருக் கின்றன என்பதை நிறமாலைகள் காட்டுகின்றன. இந்த நிறை இயக்கம், அலைவு முறையில் இருக்கலாம் என்றும், அது ஒளிவட்ட வெப்பத்தோடு தொடர்பு கொண்டு உள்ளது என்றும் கருதப்படு கின்றது. டாப்ளர் விரிவு நிறை இயக்கங்களால் ஏற்படுகின்றது என்ருல், அவ்வியக்கங்களின் திசை வேகங்கள், புரோட்டான் வெப்ப இயக்கத்தோடு ஒப்பிடப்படும் பொழுது சிறிதளவே குறை வாக உள்ளது. 1964-ல் நியூபர்ட் (Neupert) என்பவர் தம் ஆராய்ச்சியின் முடிவில் ''சூரியக் காற்று'' என்ற ஒரு நிகழ்ச்சி சூரியனில் நடைபெறுகிறது எனக் கருத்து தெரிவித்தார்.

சில நேரங்களில் சூரியனின் சராசரி குறுக்கு வெட்டைவிட மிகப் பெரிய குறுக்கு வெட்டு முகங்கள் காணப்பட்டன. குறிப்பிட்ட ஒரு நேரத்தில் சராசரி குறுக்கு வெட்டு முகத்தைவிட இரண்டிற்கு மேற்பட்ட குறுக்கு வெட்டு அளவுகள் காணப்பட்டன. இத்தகைய மாற்றங்களுக்கு நிலையான காரணங்கள் இன்னும் தெரியவில்லை. ஆனல் இம்மாற்றங்கள் ஏற்படுவதற்கான சாத்தியக் கூறுகளைக் கூற முடியும்.

ஒளி வட்டத்தின் செயல்வினைப் பகுதிகளில் அடிக்கடி நீளமான நேரான ஒளிவட்ட ஓடைக் கதிர் வீச்சுகள் ஏற்படுகின்றன. இந்த ஓடைகளின் அயனி அடர்த்தி ஆலென் அடர்த்தியைப் போல் சுமார் 10 மடங்குகள் அதிகமாக இருக்கிறது. இதை 1962-ல் மேக்ஸ்வெல், காம்ஸன், மஸ்டல் என்ற விஞ்ஞானிகள் கூறினர்கள். இக் கதிர்வீச்சு வாய்க்கால்கள் ஆரத்திசையில் இருப்பதோடு வலிமை வாய்ந்த காந்தப் புலங்களைக் கொண்டிருக் கின்றன. இதனல் இவை $90^\circ$ கோணத்தில் படும் ராடார் அலை களுக்கு ஒரு பெரிய குறுக்கு வெட்டை அளிக்கின்றன. அதிக உயரங்களில் இக் கதிர்வீச்சு வாய்க்கால்களினுல் உண்டாகும் அதிகப்படியான அடர்த்திகள் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பை அதிகரிக் கின்றன. இத்தகைய பெரிய குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றங்கள் சூரியச் செயல்வினை நேரங்களில் காணப்படலாம் என்பதை நம்ப வைக்கிறது. குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் மாற்றங்கள் தோன்ற மற்றக் காரணங்களும் கூறப்படுகின்றன. எதிரொளிப்பு தளப் பரப்பு

களின் உருவங்கள் மாறுவதாலும் எலெக்ட்ரான் வெப்பநிலை மாற்றங்களாலும் குறுக்குவெட்டு அதிகரிக்கப்படலாம். எலெக்ட்ரான் அடர்த்தி மாறுவதால் ஒளிவட்டத்தின் பரிமாணம் மாறுகிறது. எலெக்ட்ரானின் வெப்பநிலை மாறுவதால் உட்கவர்தல் மாறுபடுகிறது. அத்துடன் சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையில் உள்ள பிளாஸ்மாவின் குவித்தல் விளைவு (focussing effects) களாலும் குறுக்கு வெட்டு அதிகரிக்கப்படலாம் எனக் கருதப்படுகிறது.

சூரிய ராடார் கண்டுபிடிப்பில் மேலும் பெரும்பாலான வசீகரிக்கும் ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்படாமல் உள்ளன. பெரும்பாலான அதிர்வெண்களில் (15-50 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி) சூரியனின் 11 ஆண்டுக் காலச் சுற்றுக்குத் தேவையான காட்சிப் பதிவுகள் இன்னும் அவசியமாக உள்ளன. இவ்வதிர்வெண்ணின் குறைந்த முனைப் பகுதியில் மிக அதிகச் சூரியக் குறுக்கு வெட்டும், குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் அதிக மாற்றங்களும் இருக்கும் என எதிர்பார்க்கப்படுகின்றது. வான்வெளியில் தள்ளப்படும் சூரியப் பிளாஸ்மாவின் விளைவுகளைப் பற்றி ஆராய நல்ல சந்தர்ப்பங்கள் இருக்கின்றன. மேற்கூறப்பட்ட அதிர்வெண் பகுதியின் உயர்முனைப் பகுதிகளில் மிகச் சிறிய சூரியக் குறுக்கு வெட்டைப் பார்க்கக் கூடும்; அப்பொழுது சூரியக் காற்றின் தோற்றங்களைப்பற்றி நம்பத்தக்க செய்திகள் கிடைக்கலாம் என எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. சூரியப் புள்ளி பெருமத்திற்கு அருகே முக்கியமாக 50 மெகா சுற்றுகளுக்கு அதிகமாக அதிர்வெண்களைக் கொண்டு சோதனைகள் செய்து பார்க்க வேண்டும்.

சோதனைகளில் பெறப்படும் காட்சிப் பதிவுகளை விளக்குவதில் உள்ள நிலையற்ற தன்மைகளைக் குறைப்பதிலும், சூரியப் பரப்பின் எதிரொளிப்புப் பண்பியல்கள், அதன் இருப்பிடம், காலம் ஆகியவற்றின் அடிப்படையில் ஆராய்வதிலும், சூரிய விட்டத்தோடு ஒப்பிடும்பொழுது சிறிய கற்றை அகலங்களையுடைய ஆன்டென்னாக்களைப் பயன்படுத்தவேண்டும். மேலும், சிறிய கற்றை அகலங்களைத் தேர்ந்தெடுப்பதில் ஆன்டென்னா அதிர்வெண் உணர்வு நுட்பம் (frequency sensitive) அற்றதாகவும் பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும். டாப்ளர் விளைவின் காரணமாக இதை முக்கியமாகக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். அலை முகப்பின் பல்வேறு புள்ளிகளிலிருந்து சைகை ஏற்பிக்குச் செல்கின்ற நேரங்கள் வெவ்வேறு அளவில் இருப்பதால் ஓர் ஆன்டென்னா அமைப்பில் உணர்வு நுட்பம் எழுகின்றது. அணியின் பல்வேறு பகுதிகளிலிருந்து கிளம்பும் சைகைக் கூறுகளில் பல்வேறு தாமதக் கட்டங்களை இது உண்டாக்குகிறது. இது பல அதிர்வெண்களில் பல முடிவுகளைக் குறிக்

கின்றது. ஆன்டென்னுவைச் சரியாக அமைப்பதன் மூலம் இத்தகைய அதிர்வெண் விளைவை நீக்கலாம் அல்லது முடிந்தவரை குறைக்கலாம். காட்டாக, ஓர் அதிர்வெண் உணர்வு நுட்பக் கட்ட அணியில் வானத்தின் தென்பகுதியிலுள்ள இலக்குகளுக்கு அணியின் வடமுனையிலிருந்து ஆற்றலை ஊட்டினுல் அதன் உணர்வு நுட்பம் குறைவாக இருக்கும். இதே போல், ஓர் அதிர்வெண் உணர்வு நுட்பக் கட்ட அணியில் வானத்தின் வட பகுதியில் உள்ள இலக்குகளுக்கு, அணியின் தென் முனையிலிருந்து ஆற்றலை ஊட்டினுல் அதன் உணர்வு நுட்பம் குறைவாக இருக்கும்.

*MIT* ராடாரை விட உணர்வு நுட்பம் அதிகமாகவுள்ள ஒரு ராடார், கீழ்க்கண்ட காரணங்களுக்காகத் தேவைப்படுகிறது.

(1) சில நேரங்களில் எதிரொளிப்புகள் பதிவு செய்ய முடியாத அளவிற்கு வலுவற்றனவாக உள்ளன.

(2) எதிரொளிப்பு நிறமாலையில் வலுவற்ற பகுதிகளில் மேலும் விளக்கங்கள் தேவைப்படுகின்றன.

(3) சில நேரங்களில் சூரியன் சில விதமான இரைச்சல் வெடிப்புகளை வெளிவிடும் பொழுது பகுப்பு உணர்வு நுட்பம் குறைகிறது. உணர்வு நுட்பத்தில் இக் குறைவு, சுமார் 10 பங்கு வரையில் அதிகப்படுகிறது. சூரியப் புள்ளி பெருமத்திற்கருகே சில நேரங்களில் இது மேலும் அதிகமாகலாம்.

(4) எதிரொளிப்பைப் பகுப்பதில் சைகைத் தொகுப்பு தேவைப்படாவிடில் மேலும் சிறந்த ஆராய்ச்சியைச் செய்ய முடியும். மங்குதல் (fading) பண்புகளைப் பற்றிய செய்தி பயனுள்ளதாக இருக்கும்.

கற்றையின் பருமன், இலக்கின் பருமனை விடப் பெரிதாக இல்லாமலோ அல்லது ஆராய வேண்டிய இலக்கின் பரப்பைவிட அதிகமாக இல்லாமலோ உள்ள வரையில் பெரிய ஆன்டென்னுவை அமைத்து அதிக உணர்வு நுட்பத்தை எளிதாகப் பெறலாம். இதன் பின், தரையில் உள்ள ஒரு ராடாரின் உணர்வு நுட்பத்தை அதிகரிப்பதற்கு, பரப்பின் திறனை அதிகரிப்பதே வழியாகும்.

சூரிய எதிரொளிப்பில் உள்ள பெரிய டாப்ளர் அகலத்தினுல் சூரிய ராடார் சோதனைகளை அமைப்பதில் சில சிக்கல்கள் நடைமுறையில் ஏற்படுகின்றன. பரப்பி, ஆன்டென்னு, ஏற்பி ஆகியவையனைத்தும் இவற்றைக் கவனத்திற் கொண்டு அமைக்கப்பட

வேண்டும். டாப்ளர் அகலத்தின் பெருமத்தைப்போல் குறைந்தது இரு பங்கு உள்ள பட்டை அகலமாவது சாதாரணமாகத் தேவைப் படும் சாதனத்தில் (equipment) உள்ள சிக்கல்களுடன் தேவைப் படும். அளவு அதிர்வெண்களைத் தேர்ந்தெடுப்பதிலும், அதை ரேடியோ குறுக்கீட்டு முறையால் பாதிக்கப்படாமல் காப்பதிலும், இடையூறுகள் ஏற்படும். இது சூரியப் புள்ளி பெருமத்திற்கருகே உயர் அதிர்வெண் பட்டையில் குறிப்பாகக் கடினமாகும்.

சூரிய ஒளிவட்டத்தை ஒளிப் புரையின் விளிம்பை விட மேலும் ஆழமாக ராடாரைக் கொண்டு எதிர்காலத்தில் ஆராயக் கூடும். இம் முறையில் சூரியனின் சேய்மைப் புறத்தில் சூரிய செயல் வினையை ஓரளவு அளக்க முடியலாம். சூரிய எதி ரொளிப்புகளுக்குக் காரணமான ஒழுங்கற்ற விளைவுகள் ஒளி வட்டம் வெப்பப்படுத்தப்படும் நிகழ்ச்சியோடு தொடர்பு கொண் டுள்ளதாக இருக்கலாம். அப்படியானால் ராடார், ஒளிவட்டம் வெப்பமடையும் முறையில் உள்ள புதிரை விளக்குவதில் சிறந்த பங்கு ஏற்கலாம். இவையும், இன்னும் பல சிக்கல்களும் சூரிய ராடார் வானியலில் பயனுள்ள ஆராய்ச்சிகளைச் செய்வதற்கு அடிப்படையாக அமைகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Interpretation of Electron densities from corona brightness — *By Allen C. W.*
2. The viscosity and Thermal conductivity of a completely ionised gas — *By Chapman S.*
3. On the possibility of obtaining Radar Echos from the sun and the planets — *By Kerr F. J.*
4. Spectroscopic evidence of Radial motion in the outer corona — *By Moore J. H.*
5. Radio Astronomy—*By Pawsey J. L. and R. N. Bracewell*
6. Solar Flares — *By Smith H. J. and Smith E. V. P.*
7. The chromosphere and the corona, "The sun" — *By Vande Hulst H. C.*
8. Radio Frequency Radiation from the quiet sun — *By Smerd S. F.*
9. The irregular structure of the outer regions of the solar corona — *By Hewish A.*

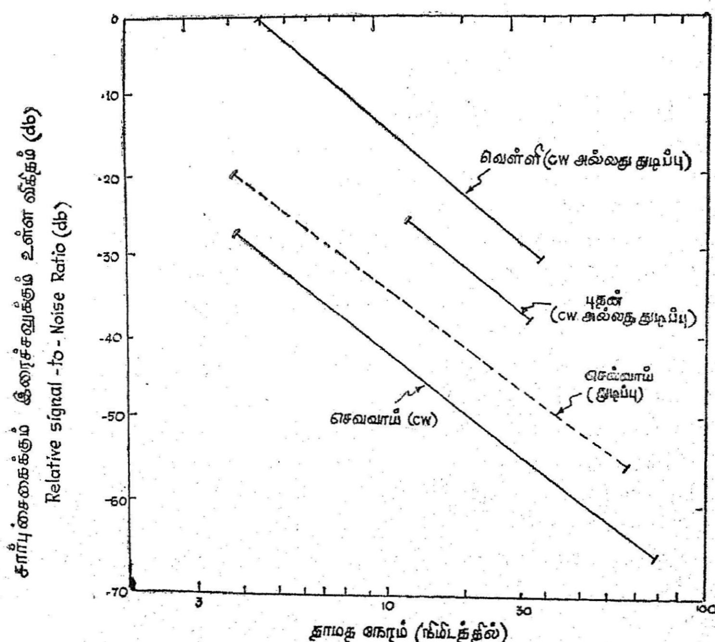
# 26. கோள்களைப் பற்றிய ராடார் ஆராய்ச்சிகள்

## (Radar Studies of the Planets)

நிலாவைப் பற்றி ராடார் ஆராய்ச்சி செய்தது போலவே கோள்களைப் பற்றியும் விரிவான முறையில் ராடார் ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. கோள்களை ஆராய உபயோகப்படுத்தப்பட்ட ராடார் அமைப்பு முறைகள் அடிப்படை அளவில், நிலாவை ஆராய உபயோகப்படுத்தப்பட்ட ராடார் அமைப்புகளையும், முறைகளையும் ஒத்திருந்தன. அத்துடன் கோள்களைப் பற்றி ஆராய்வதில் கூடுதலான சில சிக்கல்கள் இருந்தன. ஏனெனில் நிலாவைக் காட்டிலும், கோள்கள் மிக அதிகத் தூரங்களில் இருக்கின்றன. அதே சமயத்தில், கோள்களைப் பற்றி ராடார் ஆராய்ச்சிகள் தந்த செய்திகள் மிகவும் பயன் தரத்தக்கனவாக இருக்கின்றன. ஒளியியல் முறையில் நிலாவைப் பற்றி நடத்திய ஆராய்ச்சிகள் கொடுத்த செய்திகளை விட, கோள்களைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் மிக்க் குறைந்த செய்திகளையே கொடுத்திருக்கின்றன. ஒளியியல் முறையில் நிலாவின் தூரம் மிகத் துல்லியமாக அமைக்கப்பட்ட போதிலும், கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளின் உருவங்களைப் பற்றித் தெளிவற்ற செய்திகளே கிடைத்தன. ஆனால் ராடார் முறைகளைப் பயன்படுத்திய பின் அவைகளின் தொலைவுகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதோடு சுற்றுப் பாதைகளின் உருவங்களையும் நிர்ணயிக்க முடிந்தது. ராடாரினால் வெள்ளியை ஆராய்ந்தவுடனே மற்றக் கோள்களின் தொலைத் தூரங்களைத் துல்லிய முறையில் கண்டுபிடிக்க முயன்றனர். புதன், வெள்ளி ஆகியவைகளின் தூரங்களை அளந்ததிலிருந்து உட்பக்கக் கோள்களின் சுற்றுப் பாதைகளைப் பற்றிய கருத்துகள் மேலும் முன்னேற்ற மடைந்தன.

வெள்ளியின் சுழற்சியைப் பற்றித் தீர்மானிக்க ஒளியியல் தொழில் நுட்பங்களின் மூலம் முடியவில்லை. ஏனெனில் மேகங்கள்

வெள்ளியை எப்பொழுதும் மறைத்துக் கொண்டே இருக்கின்றன. புதனின் வெளி மண்டலம் அடர் குறைவாக இருந்தாலும், அது சூரியனுக்கு அருகில் இருப்பதால். அதன் சுழற்சி விதத்தைப் பற்றியும் ஆராய்வது கடினமாக இருக்கின்றது. புதன், வெள்ளி ஆகியவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்புகளின் தாமதம் (delay) அதிர்வெண் ஆகியவற்றின் திறன் பங்கீடுகளிலிருந்து, இவைகளின் சுழற்சி வேகங்களைத் தீர்மானிக்க முடிந்தது. படு கோணத்தின் அடிப்படையில் அளக்கப்பட்ட எதிரொளிப்புத் திறனிலிருந்து, இக் கோள்களின் தளப் பரப்புகளில் உள்ள சரிவு களைப் பற்றிக் குறிப்பிட முடியும்.




படம் 26·1

சூரிய அமைப்பிலுள்ள எல்லாக் கோள்களின் தோற்றங்களும் பொதுவாக இருந்தாலும், அவைகள் வெவ்வேறு உருவத்துடனும், சூரியனிலிருந்து வெவ்வேறு தூரங்களிலும் இருக்கின்றன. இதனுல் அவைகளின் வெளி மண்டலங்களும், தளப் பரப்புத் தன்மைகளும் வேறுபட்டுள்ளன. ஆகையால் ஒவ்வொரு கோளும் ஒரு குறிப்பிட்ட ரேடியோ எதிரொளிப்புத் தன்மையைப் பெற்றிருக்

கின்றது. வெள்ளி, மற்ற பெரிய கோள்கள் குறிப்பிடத்தக்க வெளி மண்டலங்களைப் பெற்றிருப்பதால் ரேடியோ நிறமாலையின் முனைகள் (extremities) புதிய செய்திகளைக் கொடுக்கின்றன. அயன மண்டலத்தினால் நீள அலைகள் கணிசமான அளவு பாதிக்கப்படுகின்றன. சென்டி மீட்டர் அலை நீளங்கள், வாயு உட்கவருதலால் (gaseous absorption) முதன்மையாகப் பாதிக்கப்படுகின்றன. இப்பகுதியில் ராடாரைப் பயன்படுத்திக் கோளியல் ஆராய்ச்சிகள் எவ்வாறு செய்யப்பட்டன என்பதைப் பற்றி விரிவாக விளக்குவோம். முதலாவதாக, தொலைவிலுள்ள கோள்களில் எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும் சைகைகளை எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பது என்பதைப் பற்றியும், பின் கோளியல் ராடார் ஆராய்ச்சிகளைப் பற்றியும். அவைகளினால் இதுவரைக் கிடைத்த முடிவுகளைப் பற்றியும் விளக்குவோம்.

படம் 26·2.

1954 - 1971 வரை செவ்வாயின் மாறும் எதிர்த்திசை நிலைத்தூரங்கள் 1956-லும், 1971-லும் அனுகூலமான எதிர்த்திசை நிலைகள் நடந்தன.

வெள்ளி, தன் சுற்றுப் பாதையில் பூமிக்கு அருகில் நெருங்கும் பொழுது, நிலாவைவிட ஐந்து மில்லியன் மடங்கு (67 *db*) வலுவற்ற ஒரு ராடார் இலக்காகச் செயல்படுகின்றது. 1946-ம் ஆண்டு தான் ராடாரினால் நிலாவானது முதன் முதலாக ஆராயப்பட்டது என்பதை நாம் நினைவு கூறும்பொழுது கோள்களைப் பற்றி ஆராய் வதில் உள்ள சிக்கல்கள் தெளிவாகும். இப்பொழுது ராடார் தொழில் நுணுக்கத்தில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்களினால், வெள்ளி யைவிட 40 *db* குறைவற்ற இலக்குகளைக் கூட ராடாரினால் பார்க்க முடியும். (படம் 26·1) புதன், வெள்ளி, செவ்வாய் ஆகிய கோள் களின் தாமத நேரத்திற்கும், சார்புச் சைகைக்கும், இரைச்சலுக்கும் உள்ள விகிதத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகின்றது. அத் துடன் எதிரொளிப்புத் திறன் கோள்களின் தளப் பரப்புத் தன்மை களைப் பொறுத்துள்ளது; அதாவது தளப் பரப்பின் சொர சொரப்பு வீதம், கோளின் வெளி மண்டலத்தின் தடிமம், கோளின் தோற்றச் சுழற்சி வீதம் (apparent rotation rate) ஆகியவற்றைப் பொறுத் துள்ளது. இந்தத் தன்மைகளும், அவைகளால் ஏற்படும் விளைவு களும், ராடாரின் அலை நீளத்தைப் பொறுத்தும், அது செயல்படும் வகையைப் (operating mode) பொறுத்தும் மாறுபடுகின்றன, வெவ் வேறு ஆண்டுகளில் பூமியும், செவ்வாயும் தங்களது சுற்றுப்பாதை களில் இருக்கும் நிலைகளைப் படம் 26·2 காட்டுகின்றது.

1963 - ம் ஆண்டு பிப்ரவரி மாதத்திலும், 1965-ல் மார்ச் மாதத்திலும் செவ்வாயின் எதிர்த் திசை நிலைத் தூரம் சுமார் $99 \times 10^6$ கிலோ மீட்டராக இருந்தது. 1971 - ம் ஆண்டு ஆகஸ்டு மாதத்தில் இத் தூரம் $56 \times 10^6$ கி. மீட்டராகக் குறைக் கப்பட்டுவிட்டது. இந்தத் தூர மாற்றம் எதிரொளிப்புத் திறனை 10 மடங்காக அதிகரிக்கச் செய்யும். இதனால் ராடார்களுக்கு செவ்வாய் ஓர் உபயோகமுள்ள இலக்காகப் பயன்படுகிறது. சுமார் 10 ஆண்டுகளுக்கு முன்பு மில்ஸ்டோன் ராடாரினால்தான் செவ் வாயைப் பற்றி ஆராய முடிந்தது.

நடைமுறையில் ராடார் நிபுணருக்கு ஏற்படும் ஆவல் இரண்டு விதமானவை. ஒன்று, அவர் குறிப்பிட்ட இலக்கைப் பற்றி நம்பகமான செய்திகளைத் தெரிந்துகொள்ள விருப்பப்படுகிறார். இரண்டாவது, அவர் அந்த இலக்கின் சில குணங்களைப் பற்றி மட்டும் ஆராய விருப்பப்படுகிறார். பல வழிகளில் இவ்விரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று சார்பற்றவை. பரிசோதனையில் உரிமைப் படி களின் (degrees of freedom) எண்ணிக்கை அதிகமாக, அதிகமாக அளவீடுகளின் குற்றங்களும், குறைகளும் அதிகமாகின்றன. ஓர் இலக்கின் சிதறடிக்கும் தன்மைகள் தெரிந்தால், பிறகு பரப்பப்பட்ட

அலை வடிவமும், ஏற்பியின் உருவ அமைப்பும் பெரும அளவு இலக்கைப் பகுத்துக் காட்டும், அவ்வாறின்றி இலக்கின் சிதறடிக்கும் தன்மைகளைப் பற்றி முழுமையாகத் தெரியாவிடில், பரிசோதனையின் அமைப்பு மிகவும் சிக்கலாக அமைந்துவிடும். இதனால் ஓர் எதிரொளிப்பைக் கண்டுபிடிக்கப் பல தடவை ஏற்பியைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

ராடார் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, இலக்கைப் பற்றி அறிய, தொலைவின் விளைவுகளைச் சுலபமாகக் கண்டு பிடிக்கலாம். இலக்கின் பௌதிக உருவத்தைப் பற்றிக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட தோராய மதிப்புகள் பாதிக்கப்படாமல் இருக்கும் அளவிற்குத் துல்லியமாகத் தெரிந்து கொள்ள முடியும். நன்கு நமக்குத் தெரியாதவையும், ஆராய முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவையும் (1) தளப் பரப்பின் எதிரொளிப்புத் திறன், (2) கோணச் சிதறல் விதி, (3) கோளின் சுழற்சி வீதம் ஆகியவைகளாகும். தளப் பரப்பின் எதிரொளிப்புத் தன்மை பெரும்பாலும் படும் சைகையின் ஒரு சிறு பகுதி பூமியை நோக்கித் திரும்பி வருவதை நிர்ணயிக்கின்றது. இது சைகை பரவும் பாதையின் உட்கவர் விளைவுகளையும், எதிரொளிப்பு முறையின் திறமையையும் பொறுத்துள்ளது. தளப் பரப்பு கரடுமுரடாக உள்ள இலக்கிற்கு, கணிசமான நேரப் பிரிகை (time dispersion) திரும்பி வரும் சைகைக்கு ஏற்படலாம். இதனால் பெறப்படும் மொத்தத் திறனை, தாமதிக்கும் பகுதிகளின்மேல் பங்கீடு செய்து, அதனுடைய உச்ச மதிப்பைக் குறைக்கலாம். இதேபோல, தளப் பரப்பு சொரசொரப்பாக உள்ள ஒரு சுழற்சிக் கோள், திரும்பி வரும் சைகையை ஓர் அதிர்வெண் பட்டைமேல் பரவச் செய்து, ஏற்கும் பட்டை அகலத்தில் ஓரலகில் விழும் திறனைக் குறைக்கச் செய்கின்றது.

ஓர் எளிமையான ராடார் அமைப்பு, ஒரு தொடர் அலைப் பரப்பி (continuous wave transmitter) யைக் கொண்டு வேலை செய்கிறது. வெளிவிடும் அலை, ஒரு பண்பேற்றப்படாத சைன் அலையாக இருந்தால் தொலைவைப் பற்றிய செய்திகள் எவையும் கிட்டா. பொதுவாக, திரும்பி வரும் அலை டாப்ளர் விளைவால் அதிர்வெண் பெயர்ச்சி (shift) அடைந்து அகலப்படுத்தப்படுகிறது. இதனால் இலக்கின் சுற்றுப் பாதை இயக்கம், தளப் பரப்பின் சொரசொரப்புத் தன்மை, சுழற்சி வேகம் ஆகியவற்றைப் பற்றிய செய்திகளைக் கொடுக்கின்றது. இத்தகைய தொடர் அலை அமைப்பு முறை, 1961-ல் விக்டர், ஸ்டீவன்ஸ் என்பவர்களாலும், 1964-ல் பொன்சன்பி, அவரது நண்பர்கள் ((Ponsonfy et al) என்பவர்களாலும், 1962-ல் கோட்டல் நிக்கோவ் என்பவராலும் உபயோகப்படுத்தப்பட்டு நல்ல முடிவுகளைத் தந்தது.

ஏற்பி சிறந்த முறையில் இயங்க டாப்ளர் அதிர்வெண் பெயர்ச்சி ஈடு செய்யப்படவேண்டும். சரியான பெயர்ச்சி மதிப்புத் தெரியாத வகைகளில் தொடர்ச்சியான பெயர்ச்சி மதிப்புகளைக் கொண்டு டாப்ளர் பெயர்ச்சியைக் கண்டுபிடிக்க முயற்சி செய்யலாம். அதிர்வெண் மாற்றத்திற்குப் பின் ஏற்கப்பட்ட அலை வடிவம் பொறுத்தமான வடிப்பான் வழியாகக் கீழே விளக்கப்பட்ட முறையில் அனுப்பப்படுகிறது. வடிப்பானின் வெளிவரு அளவு, ஓர் இருமடி விதிப் (square law) பகுப்பானைச் செயல்படச் செய்கின்றது. இப் பகுப்பான் (detector) கட்டங்களை (phases) நீக்கிவிட்டு, உள்ளிடு அளவிற்கு (input) நேர்விகிதத்தில் ஒரு மின்னழுத்தத்தை அதன் புற வாயில் தோற்றுவிக்கின்றது. இந்த மின்னழுத்தம் தொகுனியாக்கம் செய்யப்பட்டு பின் பரிசோதனை இடைவெளியில் சராசரித் திறனைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

ஒரு தொடர் அலைப் பரப்பு முறையில் (*CW*) பகுக்கப்பட்ட சைகைக்கும் இரைச்சலுக்கும் உள்ள விகிதம் (signal to-noise ratio) பெரும நிலையை அடைய, ஓர் ஏற்கும் வடிப்பானைப் பயன்படுத்த வேண்டும். இவ் வடிப்பான் திரும்பி வரும் சைகைக்குச் சமமான நிறமாலைப் பண்புகள் (spectral characteristics) கொண்டிருக்கவேண்டும். இத்தகைய வடிப்பானில் மாற்றம் செய்யும் பொழுது ஏற்படும் விளைவுகளை மேலாக ஆராயலாம். சைகைக்குரிய தேவையான இடத்திற்குமேல் பட்டை அகலம் அதிகரிக்கப் பட்டால் அவ் வதிகரிப்பிற்கு நேர் விகிதத்தில் வெளிப்புற இரைச்சலின் திறன் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. இதனால் சைகைத் திறனுக்கும் சராசரி இரைச்சல் திறனுக்கும் உள்ள தகவு புற வாயில் குறைக்கப்படுகின்றது. சராசரி இரைச்சல் திறனைவிட, விரைவான ஏற்ற இறக்கங்களே முக்கியமானவை. கொடுக்கப்பட்ட ஒரு காட்சிப் பதிவு நேரத்தில் வெளிவரு மின்னழுத்தத்தின் மாற்றங்கள் பட்டை அகலத்தின் இருமடி மூலத்தில் அதிகரிக்கின்றது. வடிப்பான் பட்டை அகலம் பெரும அளவுக்குக் கீழே குறைக்கப் பட்டால் சைகைத் திறன் பகுப்பதிலிருந்து நீக்கப்பட்டுவிடும். இதே விகிதத்தில் தொடர்ந்து வரும் சராசரி இரைச்சல் திறனும் குறைகின்றது. இருப்பினும் இதன் மாற்றங்கள் இருமடி மூலத்தில் தான் குறைகின்றன.

கோணச் சிதறடிக்கும் விதி, கோளியியல் சுழற்சி ஆகியவைகளின் விளைவுகளைக் கருதும் பொழுது பாதை இழப்பிற்கும், காலத்திற்கும் இடையேஉள்ளத் தொடர்பு குறிப்பிடத் தக்க மாற்றங்கள் அடைந்து முடிவாகப் படம் 26·2-ல் காட்டிய தொடர்பு கிடைக்கின்றது. இத்தகைய மாற்றங்கள் ராடார் அளவீடுகளிலிருந்து செய்யப்பட்டு, செவ்வாய், புதன், வெள்ளி ஆகிய கோள்களுக்கு

மட்டும் பயன்படுத்தப்பட்டது. வியாழன், மற்றும் தூரத்திலுள்ள கோள்களில் திரும்பத் திரும்பச் செய்த ஆராய்ச்சிகள் ஒரே முடிவைக் கொடுக்காமையால், ராடார் அளவீடு மாற்றங்களை இவைகளில் பயன்படுத்த முடியவில்லை. மெதுவாகச் சுழன்று கொண்டிருக்கும் புதன், வெள்ளி போன்ற கோள்களுக்குப் பட்டை அகலம், நேரத்தைப் பொறுத்து 4-லிருந்து 1 வரை மாறுபட்டது. இம் மாறுபாடு பூமியும், இலக்காகச் செயல்படும் கோளும் உள்ள சார்பு நிலையைப் பொறுத்துள்ளது. படம் 26·2 ஐ 400 மெகா சுற்றுகளிலிருந்து குறைந்தது 2,500 மெகா சுற்றுகள் வரைச் செயல் படும் அதிர்வெண் பகுதிக்குப் பயன்படுத்தலாம்.

துவக்கத்தில் ராடார் அமைப்பு முறையில் குறுகிய கால ரேடியோ ஆற்றலைக் கொண்ட துடிப்புகள் அனுப்பப்பட்டு, பின் அவைகள் இலக்கினுல் எதிரொளிக்கப்பட்டு, போதுமான ஆற்றலுடன் மீண்டும் திரும்பி வந்தபொழுது அவை பகுக்கப்படுகின்றன. இம் முறையில் துடிப்பு எடுத்துக் கொள்ளும் தாமத நேரம் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டு, அதிலிருந்து இலக்கின் தூரம் கணக்கிடப் படுகின்றது. இராணுவத் தேவைகளுக்காக அண்மைக் காலத்தில் உண்டாக்கப்பட்ட ராடார் பரப்பிகள் உயர்ந்த உச்சத் துடிப்புத் திறன்களைக் கொண்டிருப்பதோடு அல்லாமல் உயர்ந்த சராசரி திறன்களையும் கொண்டிருந்தது. 1 மீட்டருக்கும், 10 செ. மீட்டருக்கும் இடைப்பட்ட அலை நீளங்களில் செய்யப்பட்ட ராடார் வானியல் காட்சிப் பதிவுகள், சராசரி சுமார் 100 கிலோ வாட்டுகள் பரப்புத் திறனை (transmitted power) உபயோகப்படுத்தின. இந்தக் காட்சிப் பதிவுகள், துடிப்பு ராடார் அல்லது தொடர் அலை ராடார் ஆகிய இரண்டிலுமே எடுக்கப்பட்டன. சாதாரணத் துடிப்புப் பரப்பிக் கூட 2·5 மெகா வாட்டுக்கும் 5 மெகா வாட்டுக்கும் இடைப்பட்ட உச்சத் திறனை (peak power) கொண்டிருக்கின்றது. இத்தகைய பரப்பியின் துடிப்பு நீளம் ஒரு சில மைக்ரோ விநாடிகளிலிருந்து பல மில்லி விநாடிகள் வரை வேறுபடுகின்றது. துடிப்புத் திருப்ப நேரம் (pulse repetition rate) பெரும அளவு சராசரி வெளி வரு திறனுக்குத் தக்கவாறு சீர் செய்யப்படுகிறது. துடிப்பு நீளத்தைச் சரி செய்து, ஒரு துடிப்புப் பரப்பியை, தொடர் அலை அமைப்புகளில் கிடைக்காத சில நிகழ்ச்சிகளைக் கொடுக்குமாறு இயக்கலாம்.

நவீனத் துடிப்பு ராடார் அமைப்புகளில் ஓர் அடிப்படை சைன் அலையின் வாய் வழிப் பகுதிகளிலிருந்து (gating portions) பரப்பப்படும் துடிப்பு வரிசை பெறப்படுகின்றது. இந்த சைன் அலையின் அதிர்வெண் துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்தப் படுகின்றது. ஓரியல் பெருக்கங்கள் (coherent amplification) மூலம் உயர் திறன் வெளி வரு அளவு உற்பத்தி செய்யப் படுகிறது. ஆகவே, அடுத்து

அடுத்துள்ள துடிப்புகள் கட்டத்தில் (phase) ஓரியல் வழி சம்பந்தப் பட்டுள்ளது. இம் முறையில் இலக்கின் இடத்தைக் கண்டுபிடிப்பது மேலும் எளிதாகின்றது. இதனால் துடிப்புப் பரப்பி, தொடர் அலைப் பரப்பியைவிட, இலக்கைக் கண்டு பிடிக்க மிகுதியாகப் பயன்படுத் தப்படுகின்றது. அத்துடன் துடிப்புப் பரப்பி இலக்கைக் கண்டு பிடிக்கும் முறையில் குறிப்பிடத் தக்க முன்னேற்றத்தை அளிக் கிறது.

1958-ம் ஆண்டு, பிப்ரவரித் திங்களில்தான் முதன் முதலாக வெள்ளிக் கோளிலிருந்து ராடார் எதிரொளிப்பைப் பதிவு செய்ய முயற்சி எடுக்கப்பட்டது. 1959-ம் ஆண்டு பிரைஸ் என்ற விஞ்ஞானி, அவரது கூட்டாளிகளுடன் அப்பொழுதுதான் புதிதாக நிறுவப்பட்ட மில்ஸ்டோன்ஹில் ராடாரைப் பயன்படுத்தித் தீவிரமாக ஆராய்ச்சி செய்தார். அப்பொழுது அந்த ராடாரின் உச்சப் பரப்புத் திறன் 265 கிலோ வாட்டாக இருந்தது. இதை உபயோகித்து வெள்ளியின் தளப் பரப்பு எதிரொளிப்பெண் கிட்டத் தட்ட ஒன்று ஆக இருக்கலாம் எனக் கருதப்பட்டது. திரும்பி வரும் சைகைகளின் செய்திகளை அப்படியே உண்மையாகக் காட்சிப் பதிவு செய்ய காந்த நாடாக்களைப் (magnetic tapes) பயன்படுத்தி னர்கள். இவர்கள் செய்த பரிசோதனைகள் கொடுத்த முடிவுகள் திருப்தியளிக்கக் கூடியனவாக இல்லை.

1959-ம் ஆண்டு ஆகஸ்டு, செப்டம்பர் திங்கள்களில் *MIT* லிங்கன் ஆய்வுக் கூடத்தில் உள்ள விஞ்ஞானிகள், இரண்டாவது முயற்சியாக வெள்ளியிலிருந்து வரும் ராடார் எதிரொளிப்புகளை ஆராய்ந்தனர். 1958-ம் ஆண்டு உபயோகப்படுத்திய அதே ராடார் அமைப்பு முறையில் இவர்கள் பரிசோதனை நடத்தினர்கள். இவர்கள் ஆராய்ச்சியும் ஏற்றுக் கொள்ளத் தக்க முடிவுகளைக் கொடுக்கவில்லை. 1963-ம் ஆண்டு ஸ்மித் என்பவர் மேற் கூறிய நிபுணர்கள் எடுத்த இலக்குப் பதிவு நாடாக்களை உரிய முறையில் மீண்டும் பதனிட்டு, குறிப்பிடத்தக்க எதிரொளிப்புகள் இருப்பதை வெற்றிகரமாகக் காண்பித்தார். இவர் கணக்கிட்ட வெள்ளியின் தொலைவு பிறகு செய்த ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் கிடைத்த தொலை வின் மதிப்புகளை மிகச் சிறந்த முறையில் ஒத்திருந்தது.

1959-ம் ஆண்டு, ஈ வான்ஸ், டெய்லர் என்பவர்கள் இங்கிலாந்து நாட்டில் உள்ள மான்செஸ்டர் பல்கலைக் கழகத்தைச் சேர்ந்த, ஜோட்ரல் பேங்க் ஆய்வுக் கூடத்தில் வெள்ளியிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும் சைகைகளைக் காட்சிப் பதிவு செய்தனர். இவர்கள் உபயோகப்படுத்திய பரப்பி 408 மெகா சுற்றுகளைக் கொண்டது. இப் பரப்பி 250 அடி பரவளைய ஆன்டென்னுவுடன்

இணைக்கப்பட்டிருந்தது. அட்டவணை 26·1-ல் வெள்ளியிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்புகளைப் பற்றி ஆராய்ச்சி செய்ய உபயோகப் படுத்தப்பட்ட ராடார் அமைப்புகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. மேற் கூறிய பரிசோதனையில், பிரைஸ் கூறிய வானியல் அலகு மதிப்பில், ஓர் எதிரொளிப்பிற்காக ஆராய்ச்சி செய்யப்பட்டது. சுமார் 60 மணி நேரத்திற்குப் பின், பிரைஸ் கூறிய தொலைவில் ஓர் எதிரொளிப்பு அறிகுறி தோன்றியது. ஆனால் இவர் கூறிய குறுக்கு வெட்டு முகம், பரிசோதனையில் கிடைத்த குறுக்கு வெட்டு முகத்தை விட சுமார் 100 மடங்கு அதிகமாக இருந்தது. 1961-ம் ஆண்டு பிப்ரவரித் திங்கள் இறுதிக்குள், பல பரிசோதனை நிலையங்கள், வெள்ளியிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்புகளைப் பெறப்

அட்டவணை 26·1.

| நிலையம் | இடம் | அதிர்வெண் Mc/sec. | ஆன்டெனா விட்டம் (ft) | லாபம் (db) | சாரசரி திறன் (Kω) | உச்சத் திறன் (Kω) | துடிப்பு நீளம் (மீட்டர்) | வெப்பநிலை Ts. (K) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| கலிபோர்னியா தொழில் நுணுக்க நிலையம் J.P.L. | கோல்டுஸ்டோன் (கலிபோர்னியா) | 2388 | 85 | 54 | 12 | 12 | CW 8·2 | 60 |
| மான்செஸ்டர் பல்கலைக் கழகம் | ஜோட்ரல்பேங்க் (இங்கிலாந்து) | 408 | 250 | 47·3 | 1·8 | 60 | 30 | 1200 |
| M.I.T. லிங்கன் ஆய்வுக் கூடம். | மில்ஸ்டோன்ஹில் (வெஸ்ட்ஃபோர்டு) | 440 | 84 | 37·5 | 150 | 3500 | 0·5 2 4 | 240 |
| எலெக்ட்ரானியல் ரேடியோ தொழில் நுணுக்க நிலையம். | கிரைமியா (U.S.S.R.) | ~700 | — | (47) | (30) | (30) | CW 64 128 | (1000) |

**ராடார் அமைப்பு முறைகள்:**

இறுதிப் பத்தியிலுள்ள $T_s$ என்பது ஏற்பி அமைப்பின் இணை மாற்று இரைச்சல் வெப்ப நிலைகள். அட்டவணையல் அடைப்புக்குள் இருப்பவை தோராய மதிப்புகள்.

போதுமான நுட்பத் திறனைக் கொண்ட ராடார் உபகரணங்களைக் கொண்டிருந்தன. மில்ஸ்டோனின் பரப்பி 2·5 மெகா வாட்டுகள் திறனைக் கொண்டிருந்தது. ஜோட்ரல் பேங்கில் உள்ள பரப்பி மீண்டும் பெரிதாக்கப்பட்டது. அதன் ஏற்பி மேலும் சீர்படுத்தப் பட்டது. கலிபோர்னியா தொழில் நுணுக்க நிலையம். J. P. L. (Jet Propulsion Laboratory) கூடுதலாக இரண்டாவது 85 அடி ஆன்டென்னாவைப் பெற்று இரு நிலைகளில் 2388 மெகா சுற்றுகளில் இயங்கத் தொடங்கியது. அட்டவணை 26·1, 1961-ல் இயங்கிய ராடார் அமைப்புகளின் தன்மைகளைத் தெளிவாகக் காட்டுகிறது.

அண்மை ஒரு திசைநிலை (inferior conjunction) ஏப்ரல் 10-ம் நாள் நடந்தது. இதனால் மில்ஸ்டோனிலும், கோல்டுஸ்டோனிலும் உள்ள ஆராய்ச்சியாளர்கள் மார்ச் திங்கள் முன்பகுதியில் ஆராய்ச்சி செய்ய ஆரம்பித்தனர். 1961 மார்ச் 10-ம் நாள், கோல்டு-ஸ்டோனில், விக்டர். ஸ்டீவன்ஸ் என்பவர்களுக்கு எதிரொளிப்புச் சைகையைப் பற்றித் தெளிவான ஒரு முடிவு கிட்டியது. ஒரு கோளிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்பை நம்பத் தகுந்த முறையில் அடையாளம் கண்டு கொண்டது அதுவே முதல் தடவையாகும். அதே சமயத்தில் *JPL* ஆய்வாளர்கள் வெள்ளியின் தொடக்கக் காட்சிப் பதிவை எடுத்தார்கள். மில்ஸ்டோனில் உள்ள *MIT* ஆராய்ச்சியாளர்கள் ஓர் இலக்க எண்ணி (digital computor) யைப் பயன்படுத்தி ராடாரின கால வடி (time base) மேல் நேர்முக வரிவுத் தொகுனியாக்கம் (sweep integration) செய்தனர். மார்ச் 22-ம் தேதிக்குள், ஒரு தனித்த 5½ நிமிடக் காட்சிப் பதிவு நேரத்தில் போதுமான அளவு வலிமையுடைய சைகைகள் அவர்களின் ஆராய்ச்சிக்கு அடிகோலியது. ஏனெனில் சைகையைத் துரிதமாகப் பகுக்க எளிமையான தொகுப்பற்ற வரிசைத் துடிப்புகள் பயன்படுத்தப்பட்டு, மொத்தக் கால தாமதத்தைக் காட்சிப் பதிவு செய்தபொழுது, ஒரு தெளிவற்ற முடிவையே கொடுத்தது. கால தாமதத்தைக் குறைத்தபொழுது ஈவான்ஸ், ஹேக்ஃபோர்ஸ் என்பவர்கள் வெள்ளியின் தொலைவைக் கணிசமான அளவு துல்லியத்துடன் கணக்கிட்டனர். பரிசோதனையைப் பல தடவை திருப்பிச் செய்தபொழுது கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவு மதிப்புகளைப் பெற்றனர்.

1961 ஏப்ரல் 8-ம் தேதி, ஜோட்ரல் பேங்க் நிலையத்தில் தாம்சனும் அவருடைய கூட்டாளர்களும் வெள்ளி எதிரொளிப்புகளை அடையாளங்கண்டு அவைகளை ஏற்றனர். அவர்களின்

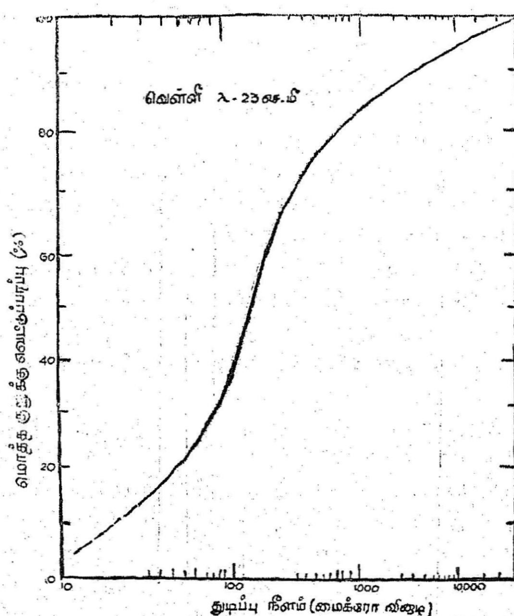
முடிவுகள், மற்ற ஆராய்ச்சியாளர்களின் முடிவுகளோடு ஒத்திருந்தன. ஆனால் இவர்கள் நீளமான துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தியதால், வெள்ளியின் தொலைவைத் தோராயமாகத்தான் கண்டு பிடிக்க முடிந்தது. நிறமாலை நிறப் பிரிகை (spectral dispersion) பற்றி அளவீடுகள் ஏதும் பெறமுடியவில்லை. 1961-ம் ஆண்டிலேயே, மார்ச் - 21, ஏப்ரல் - 8 ஆகிய தேதிகளில் மேரோன் என்பவரும், அவரது கூட்டாளிகளும் ஓரளவு வலிமையற்ற எதிரொளிப்புகளைப் பதிவு செய்து ஆராய்ந்தனர். இவர்களின் முடிவு 1961-ம் ஆண்டு மற்ற ஆராய்ச்சியாளர்களுக்குக் கிட்டிய முடிவுகளோடு ஒத்திருந்தது.

1961 ஏப்ரல் 18, 26 ஆகிய நாட்களில் கோட்டல் நிக்கோவ் என்பவரும், அவரது கூட்டாளிகளும் சோவியத் நாட்டிலுள்ள "எலெக்ட்ரானியல் ரேடியோ தொழில் நுணுக்க நிலையத்தில்" வெள்ளியின் ராடார் காட்சிப் பதிவுகளைச் செய்தனர். இவர்கள் பரிசோதனையில் தொடர் அலைமுறை (CW system) தொழில் நுணுக்கத்தைப் பயன்படுத்தினர். ஆனால் இவர்கள் இலக்க முறைக்கு (digital process) அவ்வளவு முக்கியத்துவம் கொடுக்கவில்லை. இவர்களின் பரிசோதனையின் தொடக்கத்தில், டாப்ளர் அதிர்வெண் இடப் பெயர்ச்சியையும், கால தாமதத்தையும் அளப்பதில் சில சிக்கல்கள் இருந்தன. ஆனால் பிறகு 1961 - ம் ஆண்டின் மற்ற மதிப்புகளோடு ஒத்துப்போகும் முறையில் இவர்கள் வானியல் அலகின் மதிப்பை வருவித்தார்கள்.

சிறிது காலமாக, வெள்ளியைப் போன்று புதனும் ராடாரின் எளிய இலக்காகச் செயல்படுகின்றது. ஏனெனில் வெள்ளியைப் போலவே புதனுடைய சுழற்சி வீதமும் இருக்கின்றது. கோட்டல் நிக்கோவும், அவரது கூட்டாளிகளும் 1962-ம் ஆண்டின் பிற்பகுதியில் முதன் முதலாகப் புதனிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்புகளைப் பற்றிக் கூறினார்கள். இவர்கள் 1961-ல் உபயோகப்படுத்திய வெள்ளி முறையைக் கணிசமான அளவிற்குச் சீர்படுத்தி, 1961-ல் உபயோகப்படுத்திய வெள்ளி முறையைக் கணிசமான அளவிற்குச் சீர்படுத்தி, 1962-ம் ஆண்டு ஜூன் மாதத்தில் ஆராய முற்பட்டனர்.

1963-ம் ஆண்டு பிப்ரவரி மாதத்தில் செவ்வாய் எதிர்த் திசை நிலையில் இருந்த பொழுது, கோல்டுஸ்டெயின், கிங்மோர் என்பவர்கள் JPL ஆய்வுக் கூடத்திலும், USSR-ல் கோட்டல் நிககோவும், அவரது கூட்டாளிகளும், இக் கோளின் ராடார் காட்சிப் பதிவுகளை எடுத்தார்கள்.

கோளியல் ராடார் ஆராய்ச்சிகளில் ஆன்டென்னுக் கற்றை எப்பொழுதும் மாருமல், கோளின் கோண விட்டத்தைவிட அதிக மாகவே இருக்கின்றது. இக் காரணத்தினுல் சந்திரனில் ஏற்பட்ட சிக்கல்கள், கோள்களை ஆராயும் பொழுது ஏற்படவில்லை. சந்திரத் தட்டைவிட ஆன்டென்னுக் கற்றையின் கோண அகலம் குறைவாகவும் இருக்கலாம். சந்திரனைப் போலவே, செவ்வாய், புதன், வெள்ளி ஆகிய கோள்களும், அவைகளின் மையப்பகுதிகளிலிருந்து அதிகமான அளவு ஆற்றலை எதிரொளிக்கச் செய்கின்றன. இம் மையப் பகுதிகளின் சராசரி தளப் பரப்பு பெரும்பாலும் பார்வைக் கோட்டிற்குச் செங்குத்தாகவே இருக்கின்றது. படம் 26·3-ல்

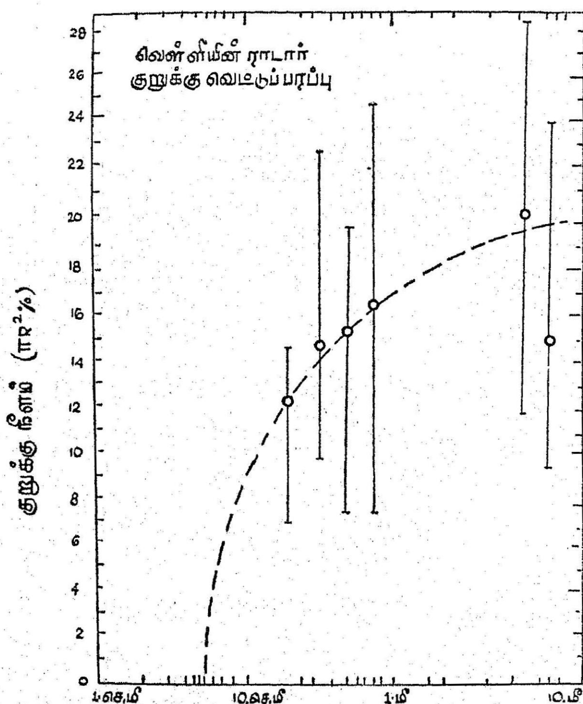



படம் 26·3

வெள்ளியின் உச்ச எதிரொளிப்புத் திறனுக்கும், துடிப்பு நீளத் திற்கும் உள்ள தொடர்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த வரை படம் 23 செ. மீ. அலைநீளத்தில் காட்சிப் பதிவு செய்யப்பட்டதை அடிப் படையாகக் கொண்டு வரையப்பட்டது. இந்த வரைபடம் 23 செ.மீட்டர் அலைநீளத்தில் பெறப்பட்ட முடிவுகளிலிருந்து வரையப் பட்டுள்ளது.

**வெள்ளி (Venus)**

வெள்ளியின் ராடார் குறுக்குப் பரப்பு பல முறை கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. சில சமயங்களில் மூன்றும், அதற்கு மேற்பட்ட ஒரு திசை நிலை அண்மையிலும் (conjunction inferior) கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. அட்டவணை 26·2 இந்தக் காட்சிப் பதிவுகளைக் காட்டுகிறது. வெகு சமீபத்தில் எடுக்கப்பட்ட காட்சிப் பதிவுகள் படம் 26·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அண்மையில் பெறப்பட்ட முடிவுகள் தொடக்கத்தில் பெறப்பட்ட முடிவுகளுடன் சில இடங்களில் மாறுபட்டுள்ளதால் படம் 26·4-ல் பிழைப் பட்டைகள் (error bars) தொடக்கத்தில் சொல்லப்பட்ட எல்லா முடிவுகளையும் குறிக்கும்படி பெரியனவாக வரையப்பட்டுள்ளன.




படம் 26·4.

அட்டவணை 2-லிருந்து கணக்கிடப்பட்ட அளவுகளிலிருந்து வரையப்பட்டது. அலை நீளத்திற்கும், குறுக்குவெட்டுப் பரப்பிற்கும் (விழுக்காடு) உள்ள தொடர்பு

அட்டவணை 26·2

| ஆராய்ச்சியாளர் | அலை நீளம் | ஒரு திசை நிலை | குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு (%) |
|---|---|---|---|
| ஜேம்ஸ், இங்கால்ஸ் (1964) | 7·84 *m.* | 1962 | 15 |
| கிளம்பர்ரர், கூட்டாளிகள் (1964) | 6·0 *m.* | 1962 | ⩽ 20 |
| டைஸ், பெட்டின்ஜில் (1965) | 70·0 *cm.* | 1964 | 15 |
| பெட்டின்ஜில், கூட்டாளிகள் (1962) | 68·0 *cm.* | 1961 | 13 ± 5 |
| கோட்டல் நிக்கோவ் (1962) | 40·0 *cm.* | 1961 | 8 |
| கோட்டல் நிக்கோவ் (1963) | 40·0 *cm.* | 1962 | 12 — 18 |
| கோட்டல் நிக்கோவ் (1965) | 40·0 *cm.* | 1964 | 19 |
| ஈவான்ஸ் (1965) | 23·0 *cm.* | 1964 | 15 |
| விக்டர் (1961) | 12·5 *cm.* | 1961 | 11 ± 2 |
| கோல்டுஸ்டெயின் (1964) | 12·5 *cm.* | 1962 | 9·8 ± 3 |
| கார்பெண்டர் (1966) | 12·5 *cm.* | 1964 | 11·4 ± 1 |
| ஈவான்ஸ் (1966) | 3·8 *cm.* | 1966 | 1·2 |
| கார்ப் (1966) | 3·6 *cm.* | 1964 | 1 |

டெசி மீட்டர் அலைநீளங்களில் வெள்ளியின் ராடார் குறுக்குப் பரப்பு, அதன் வடிவியல் குறுக்குப் பரப்பில் (geometrical cross section) 15% உள்ளது. ரஷ்யாவில் பெறப்பட்ட முடிவுகளின்படி ராடார் பரப்பு நாள் ஆக ஆக அதிகரிப்பதாகத் தெரிகிறது. இந்த அதிகரிப்பு ஒரு திசைநிலை அண்மையில் துணை ராடார் (sub-radar) புள்ளியில் ஏற்படும் மாறுதல்களால் உண்டாகிறது என்று கூறப் பட்டது. மாருக 12·5 செ. மீ. அலைநீளத்தில் எடுக்கப்பட்ட *JPL* முடிவுகள் இவ் விளைவைக் காண்பிக்கவில்லை. வெள்ளியானது பூமியிடம் ஏறக்குறைய ஒரே முகத்தைக் காட்டிக் கொண்டே சுழல்வதால் அது குறிப்பிட்ட ஒரு திசை நிலையிலிருந்து, மற்ரோர்

ஒரு திசை நிலைக்குச் செல்லும்பொழுது, இத்தகைய மாறுதல்கள் ஏற்படாது என்று கருதினர். குறுக்குப் பரப்புகள் தினந்தோறும் மாறிக்கொண்டிருக்கின்றன என்று கோல்டுஸ்டுயின், ஈவான்ஸ் ஆகியோர் கூறியுள்ளனர். இம் மாறுபாடுகள் பொதுவாக மிக மிகக் குறைவானவை. இவை அட்டவணை 26·3-ல் காட்டப் பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 26·3

| தேதி (1964) | T. .K எதிரொளிப்பு | சராசரி பரப்பியின் திறன் ($kw$) | குறுக்கு வெட்டு விழுக்காடு |
|---|---|---|---|
| 5/6 மார்ச் | 1·1 | 122·0 | 12·4 |
| 19 மார்ச் | 2·0 | 123·5 | 14·2 |
| 2 ஏப்ரல் | 1·4 | 126·0 | 6·2 |
| 5 மே | 14 | 99·0 | 16·6 |
| 27 மே | 55 | 105·0 | 12·6 |
| 3 ஜூன் | 78 | 99·0 | 13·7 |
| 18 ஜூன் | 138 | 99·0 | 14·3 |
| 30 ஜூன் | 82 | 99·0 | 10·9 |
| 7 ஜூலை | 86 | 97·0 | 15·3 |
| 14 ஜூலை | 55 | 99·0 | 14·7 |
| 21 ஜூலை | 45·5 | 99·0 | 17·2 |
| 29 ஜூலை | 11 | 100·0 | 7·2 |
| 12 ஆகஸ்டு | 11 | 96·0 | 17·7 |
| 18 ஆகஸ்டு | 5 | 99·0 | 10·4 |
| 26 ஆகஸ்டு | 5 | 99·0 | 15·7 |
| | | சராசரி | 13·2 |

அட்டவணையிலிருந்து ஏப்ரல் 2, ஜூலை 29 ஆகிய நாட்கள் தவிர மற்ற நாட்களில் பெறப்பட்ட மதிப்புகள் சராசரி மதிப்பிலிருந்து $\pm 30\%$-க்குள் இருப்பது தெரிகின்றது.

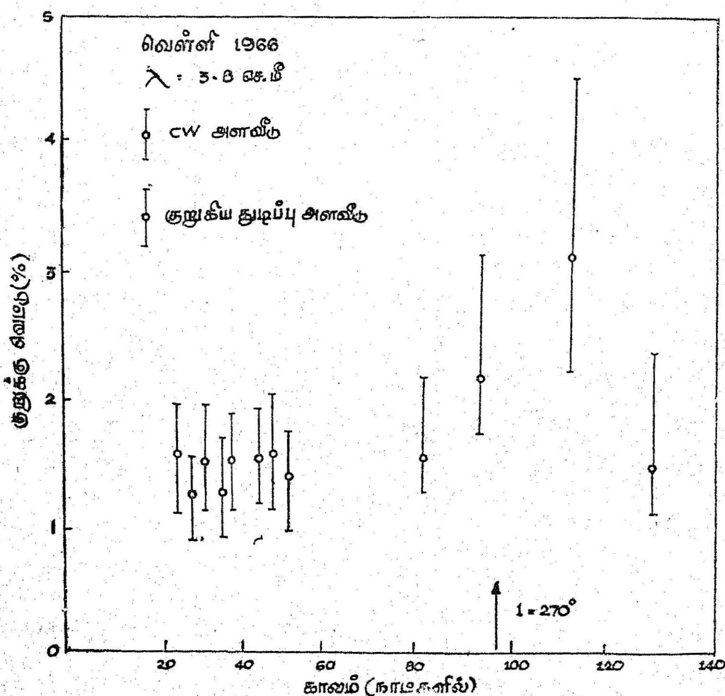
ஜேம்ஸ், இங்கால்ஸ் ஆகியோர் 1964-ல் ராடாரின் குறுக்குப் பரப்பில் மாறுதல்கள் ஏற்படுவதற்கு, கோள்களுக்கிடையேயுள்ள பிளாஸ்மாவும், வெள்ளியின் அயன மண்டலமும், வெள்ளியின் புறப்பரப்பில் அதிகமான எதிரொளிப்புமே காரணம் என்று கூறினர். 50 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி அதிர்வெண்ணில் 1964-ல் 9216 இருமுனை (dipole) அணிகளைக் கொண்டு சோதனைகள் நடத்தப்பட்டன. துடிப்புப் பரப்பியின் உச்சத்திறன் 4 மெகா வாட்டுகளாகவும், சராசரித் திறன் 140 *Kw* ஆகவும் இருந்தன. பரப்புதலுக்கும், ஏற்பதற்கும் வட்டத் தளவிளைவு பயன்படுத்தப் பட்டது. நவம்பர் 28-லிருந்து டிசம்பர் 7 வரையில் 10 நாட்களில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளில் ஒவ்வொரு நாளும் மூன்று நிமிடங்கள் மட்டுமே காட்சிப் பதிவுகள் எடுக்கப்பட்டன. சோதனைகளில் பல இடையூறுகள் இருந்தபோதிலும் உணர்வு நுட்பம் அதிகமாக இருந்தபடியால் எதிர் மின் கதிர்க் குழாயில் துடிப்புகள் தனித் தனியே அறியப்பட்டன.

$\lambda \geqslant 20$ செ. மீட்டரில் வெள்ளியின் சராசரி குறுக்குவெட்டு 15—16%-க்குள் இருந்தது. இது சந்திரன், புதன், செவ்வாய் ஆகியவற்றின் குறுக்கு வெட்டுகளைவிட அதிகமாகும். இருந்த போதிலும் இந்த மதிப்பை ஏற்க வேண்டியதாயிற்று. ஏனெனில் இந்த மதிப்பு திடப் பாறைகளின் எதிரொளிப்பு எண்களோடு ஒத்திருந்தது. இதிலிருந்து வெள்ளியின் புறப்பரப்பு அரிக்கப் படாமலும் (not croded), சிதைவுறாமலும் (not decomposed) உள்ளது என்று தெரிகிறது. சந்திரனின் புறப்பரப்பில் உள்ள நுண்மையான துகள்கள், எரிமீன்கள் அதன்மீது மோதுவதால் ஏற்படுபவையானால், வெள்ளியின் புறப்பரப்பில் இத்தகைய துகள்கள் இல்லாமல் இருப்பதற்குக் காரணம், வெள்ளியின் வளிமண்டலம் அதன் பரப்பைப் பாதுகாக்கக் கூடிய அளவிற்கு அடர் மிகுதியுடையதாக இருக்கவேண்டும்; அல்லது எரிமீன்கள் மோதும் போதுள்ள அதன் பருப்பொருள் உருகி அண்மையில் மீண்டும் திடப்பொருளாக மாறியிருக்க வேண்டும்.

$\lambda < 20$ செ. மீ. அலைநீளங்களில் வெள்ளியின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு வெகுவாகக் குறைகிறது. இதற்குக் காரணம் ராடாரிலிருந்து அனுப்பப்படும் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி வெள்ளியின் வளி மண்டலத்தால் உட்கவரப்படுவதேயாகும் என்று கருதப்

படுகிறது. இதையறிய 3·8 செ. மீ., 12·5 செ. மீ. நீளங்களில் சோதனைகள் நடத்தி சிதறடிக்கும் முறையை ஆராய்ந்தனர். ஆற்றல் கதிர் வளி மண்டலத்தில் செங்குத்தாகச் செல்லும்பொழுது குறைந்தது 2*db* ஆவது குறைவதைக் கண்டனர். மேலும் உட்கவர் எண் (absorption coefficient) வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து மாறலாம் என்றும், வெள்ளியின் புறப்பரப்பில் வெப்பநிலை ஒரே சீராக இல்லாமல் இருக்கலாம் என்றும் கருதப்பட்டது. மேலும் எதிரொளிப்புத் திறனும் அலை நீளத்தைப் பொறுத்து மாறலாம் என்று பிறகு எண்ணப்பட்டது.

ஈவான்சும், அவருடைய கூட்டாளிகளும் 1967-ல் வெள்ளியின் குறுக்குப் பரப்பு காலத்துடன் மாறுவதாகக் கூறினார்கள். அவர்களின் முடிவுகள் படம் 26·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது




படம் 26·5.

பேரட், ஸ்டேலின் ஆகியோர் வெள்ளியைச் சுற்றியுள்ள வளி மண்டலத்தின் அமைப்பைப் பற்றியும் ஆராய்ந்துள்ளனர்.

இந்த அமைப்புகள் (models) அட்டவணை 26·4-ல் தரப் பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 26·4

| அமைப்பு எண் (Model No.) | அமைப்பு (Model) | புறப் பரப்பு அழுத்தம் அல்லது அடர்த்தி | அலை நீளம் | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 3 செ. மீ. மெலிவு | 12 செ. மீ. மெலிவு |
| 1. (a) | $Co_2 - N_2$ | 300 *atm* | 3·0 | 0·19 |
| (b) | குறைவ வீதம் = 4 86° *K/KM* | 1000 *atm* | 33 | 2·1 |
| 2. (a) | $Co_2 - N_2$ | 100 *atm* | 0·58 | 0·04 |
| (b) | குறைவு வீதம் = 7·0° *K/KM* | 300 *atm* | 5·2 | 0·32 |
| 3. (a) | புழுதி | $10 g/m^3$ | 1·6 | 4·05 |
| (b) | முழு உட்கவர்தல் | $100 g/m^3$ | 16·0 | 0·40 |
| 4. (a) | புழுதி | $10 g/m^3$ | 0·05 | — |
| (b) | சிதறடித்தல் | $100 g/m^3$ | 0·50 | — |
| 5. (a) | புழுதி | $10 g/m^3$ | 0·07 | — |
| (b) | சிதறடித்தல் | $100 g/m^3$ | 0·75 | — |
| 6. (a) | மேகம் | $0.1 g/m^3$ | 0·61 | 0·15 |
| (b) | | $10 g/m^3$ | 6·1 | 1·55 |
| 7. (a) | மேகம் | $K = 1·94 \times 10^{-5}$ | 0·34 | 0·02 |
| (b) | | $K = 5·5 \times 10^{-5}$ | 0·97 | 0·06 |
| 8. (a) | மேகம் | 2 *atm* | 5·1 | 0·32 |
| (b) | ($H_2O$) | 20 *atm* | 330 | 20·6 |

குறைவு வீதம்—Lapse rate ; மெலிவு—Attenuation.

மேற்கண்ட அமைப்புகளில் 4, 5, 7 தள்ளிவிட வேண்டியவை. மற்றவைகள் ஆராயத்தக்கவை. எடுத்துக்காட்டாக $Co_2$, $N_2$ ஆகியவை உள்ள அமைப்புகளில் பரப்பழுத்தம் 300 வளி மண்டலங்கள் இருந்தால் தேவையான உட்கவர்தலைக் கொடுக்கும். [1 (a) and 2 (b)]—இவைகளின் உட்கவர்தல் நிலையற்ற மோதல்கள் உண்டாக்குகின்ற இருமுனை திருப்புத் திறன்களால் ஏற்படுகிறது. பெருமளவு உட்கவர்தல் கரியமில வாயுவினால் ஏற்படுகின்றது. வளி மண்டல உட்கவர் எண்ணிற்கு பேரட், ஸ்டேலின் ஆகியோர் கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டைக் கொடுத்தனர்.

$$\alpha_{Co_2, N_2} = 1{\cdot}5 \times 10^{-8} \frac{F^2 P^2 m^2}{T^{4 \cdot 6}} \left[ 1 + 0{\cdot}07 \left( \frac{1-m}{m} \right) + 0{\cdot}012 \left( \frac{1-m}{m} \right)^2 \right] Cm^{-1}$$

இங்கு $P$ — வளி மண்டலத்தின் மொத்த அழுத்தம்.

$F$ — அடுக்கம் (ஆயிரம் மெகா சுற்றுகள்)

$T$ — வெப்பநிலை (100° $K$ அலகு)

$$m - \frac{PCo_2}{p}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து உட்கவர்தல் வெப்பநிலையை மிகவும் சார்ந்துள்ளது என்பது தெரிகிறது. இதிலிருந்து குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் மாறுதல்கள் துணை ராடார் புள்ளியில் ஏற்படும் வெப்பநிலை மாறுதல்களால் உண்டாகின்றன என்று சொல்வது பொருந்தும்.

அட்டவணை 26·4-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள அமைப்பில் வேறொரு முக்கியமான செய்தியும் கிடைக்கின்றது. மூலக் கூறு ஒத்தியைவு உட்கவர்வான்கள் (molecular resonant absorbers), எடுத்துக்காட்டாக, அமைப்பு 8-ல் உள்ள நீராவி எவ்வாறு அதிகப் புறப்பரப்பு அழுத்தம் இல்லாமலே சிறந்த முடிவுகளைக் கொடுக்கும் என்பது அட்டவணையிலிருந்து தெரிகிறது. இந்த மூலக் கூறுகள் இரு முனை திருப்புத் திறன்களை (dipole moment) பெற்றுள்ளதால் சிறந்த உட்கவர்வான்களாக அமைகின்றன. ஆனல் $Co_2$ அமைப்பில், உட்கவர்தல் ஒத்தியைவு அற்ற முறையாகும். இந்த ஒருங்கியைவு அற்ற முறை இரு முனைத்

திருப்புத் திறன் தூண்டப்படுவதற்கு மூலக்கூறு மோதல்களைப் பொறுத்திருக்கும். வளி மண்டலத்தின் பெரும்பாலான இயைவுருக்கள் (consittuents) 3 செ. மீ. -க்குக் குறைவான அலை நீளத்தில் ஒத்தியைவுகளைப் பெற்றுள்ளன. எனவே இவை வெள்ளியின் வளி மண்டலத்தில் இருக்க வேண்டும். இவ்வமைப்புகளின் அடிப்படையில் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் ஏற்படும் மாறுதல்கள், வளி மண்டலத்திலுள்ள நீராவியின் அளவு மாறுபடுவதால் உண்டாகலாம் எனக் கருதப்படுகிறது. அல்லது அவை வெள்ளியின் புறப் பரப்பில் ராடார் எதிரொளிப்பை உண்டாக்குகின்ற உயர மாறுதல்களாலும் ஏற்படலாம். அதாவது உட்கவர்தல் வெள்ளியைச் சூழ்ந்துள்ள வளி மண்டலத்தின் தடிமனுலும் ஏற்படலாம். இத் துறையில் இன்னும் முன்னேற்றங்கள் சிறந்த ஆராய்ச்சிகளைக் கொண்டு காணப்படவேண்டும்.

**புதன் (Mercury)**

புதனின் ராடார் பரப்பு அளவுகள் அட்டவணை 26·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 26·5

| ஆராய்ச்சியாளர் | | அலை நீளம் | குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு விழுக்காடு |
|---|---|---|---|
| பெட்டின் ஜில் | (1965) | 70 செ. மீ. | 6 ± 3 |
| கோட்டல் நிக்கோவ் | (1962a) | 40 செ. மீ. | 6 |
| ஈவான்ஸ் | (1965) | 23 செ. மீ. | 10 |
| கார்பெண்டர் | (1963) | 12·5 செ. மீ. | 5 |
| ஈவான்ஸ் | (1966) | 3·8 செ. மீ. | 4·5 |

மதிப்புகள் சராசரியாக 6 விழுக்காடு உள்ளன. அவை அலை நீளத்தைச் சார்ந்துள்ளவையாகக் காணப்படவில்லை. இது வரையில் கண்ட முடிவுகளிலிருந்து குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகள் காலத்தைப் பொறுத்தும் மாறுவதாகத் தெரியவில்லை. இந்த விளைவு ஒரு திசைநிலை அண்மையில் மிகக் குறுகிய காலத்தில் சோதனைகள் செய்யப்பட்டதால் இருக்கலாம். புதனின் குறுக்குப் பரப்பு சந்திரனின் குறுக்குப் பரப்பைவிடச் சிறிதளவு சிறியதாகத்

தோன்றுகிறது. இதிலிருந்து புதனின் பரப்பு, சந்திரனின் பரப்பைப் போல் நுண்துளைகளை உடையதாக இருக்கவேண்டும் என்று கருத இடமிருக்கிறது.

செவ்வாய் (Mars)

வெள்ளி மெதுவாகச் சுழன்று பூமிக்கு ஒரே முகத்தைக் காட்டுகிறது என்று கூறுகிறோம். ஆனால் செவ்வாய் 24 மணி 37 நிமிடங்களுக்கு ஒரு முறை சுழலுகிறது, அதனால் செவ்வாயின் எல்லாத் தீர்க்கரேகைப் பகுதிகளிலும் சோதனைகளைப் பல வாரங்களுக்குத் தொடர்ந்து செய்து சிதறல் விளைவுகளை ஆராயலாம். செவ்வாயின் புறப்பரப்பு மிகவும் வழவழப்பாகவும், ராடார் கற்றைகளை எதிரொளிக்கத் தக்கதாகவும் அமைந்திருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது 1963-ல் கோல்டுஸ்டெயின் செவ்வாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு தீர்க்கரேகையைப் பொறுத்து மாறுவதாகக் கூறினர். அவர் 1963-ல் + 13° அட்சரேகைக்கு, 20° இடைவெளிகளில் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு தீர்க்கரேகையைப் பொறுத்து மாறுபடுவதையும், 1965-ல் 12·5 செ. மீ. அலை நீளத்தில் + 21° அட்சரேகைக்கு ஏற்படும் மாறுதலையும் கணக்கிட்டார், அவருடைய காட்சிப் பதிவுகள் அட்டவணை 26·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த இரண்டு விதமான காட்சிப் பதிவுகளில் கண்ட சராசரி முடிவுகள் 3·2%; 8·2% ஆகும். இம் மாறுபாட்டிற்குக் காரணம், 1963-ல் செய்யப்பட்ட பரிசோதனைகளில் 400 சுற்றுகள்/வினாடி உள்ள வடிகட்டி (filter) பகுப்பானுக்குமுன் பயன்படுத்தப்பட்டது ஆகும். இந்த அடுக்கத்தில் விளிம்புக்கு விளிம்பு டாப்ளர் விளைவு (limb to limb doppler effect) 7500 சுற்றுகள்/வினாடி ஆகும். கோல்டுஸ்டெயின் தாம் கண்ட மிகப் பெரிய மதிப்பான 6·5%, 280° தீர்க்கரேகையில் உள்ள சிர்டிஸ் மேஜர் (syrts major) என்ற இருண்ட புறப்பரப்புப் பகுதிக்கான மதிப்பு என்று கூறுகிறார். 1965-ல் இவர் செவ்வாயைப் பிப்ரவரி, மார்ச், ஏப்ரல் ஆகிய மாதங்களில் ஒவ்வோர் இரவும் ஆராய்ந்தார். மொத்தமாக ஒவ்வொரு தடவையும் 11 நிமிடங்கள் நேரங்கொண்ட 1300 சோதனைகள் செய்யப்பட்டன. சைகைகளின் அதிர்வெண் 3700 சுற்றுகள்/வினாடி பட்டை அகலத்தில் அளக்கப்பட்டது. இச் சோதனைகளில் சிறிதளவுகூட எதிரொளிப்பாற்றல் ஒதுக்கப்படவில்லை. இந்தச் சோதனைகள் அட்டவணை 26·6-ல் இரண்டாவது பகுதியில் உள்ள முடிவைக் கொடுத்தன. இச் சோதனைகளின்படி 200—210 தீர்க்கரேகைப் பகுதியில் அவை உச்சமதிப்பை அடைந்தன. இப்பகுதி "டிர்வியம் சர்ரோடிஸ்" (Trivium charontis) எனப்படும். அதே மாதிரி வேறொரு பகுதி 240—250 டிகிரி பிரிவில்

## அட்டவணை 26·6

12·5 செ. மீ. அலை நீளத்தில் தீர்க்கரேகையைப் பொறுத்து
செவ்வாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் விழுக்காடு.

| தீர்க்கரேகை | + 13° அட்சரேகை | +21° அட்சரேகை |
|---|---|---|
| 0— 20 | 3·0±0·01 | 10·0±0·03 |
| 20— 40 | 3·0 | 10·4 |
| 40— 60 | 2 0 | 9·2 |
| 60— 80 | 2·0 | 7·4 |
| 80—100 | 2·0 | 4·3 |
| 100—120 | 3·0 | 8 3 |
| 120—140 | 2·5 | 6·9 |
| 140—160 | 3·0 | 4·5 |
| 160—180 | 2·5 | 7·8 |
| 180—200 | 3 5 | 11·0 |
| 200—220 | 3·5 | 7·0 |
| 220—240 | 4·0 | 10·1 |
| 240—260 | 5·5 | 13·1 |
| 260—280 | 6 5 | 10·8 |
| 280—300 | 6·0 | 8·7 |
| 300—320 | 3 0 | 6·5 |
| 320—340 | 2·0 | 8·2 |
| 340—360 | 3·0 | 10·0 |

காணப்பட்டது. இது "மோடஸ் லாக்குன்டீஸ்" (Modus laocoondis) என அழைக்கப்படுகிறது. கோல்டுஸ்டெயின் செவ்வாயில் அமேஜானிஸ் (Amezonis) என்ற பகுதி இருப்பதாகவும், இதிலிருந்து மிகச் சிறிதளவு ஆற்றலே திருப்பப் படுவதாகவும் கூறினார். இதே மாதிரி செவ்வாயைப் பற்றிய சோதனைகள் டைஸ் (Dyce) என்பவரால் 1965-ல் மேற்கொள்ளப்பட்டன. அவருக்குக் குறுக்குப் பரப்பின் மதிப்பு 3 - 13% வரை கிடைத்தது.

செவ்வாயின் சராசரி குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு 8% ஆகும். இதிலிருந்து செவ்வாயின் பரப்பும் கடினமான பாறையாக இல்லை என்பது தெரிகிறது. ஆனால் பரப்பின் பல்வேறு பகுதிகள் அடர்த்தியிலும், வேதியியல் சேர்க்கையிலும் மாறுபட்டுக் காண்கின்றன. செவ்வாயின் பரப்பும் வெவ்வேறு இடங்களில் வெவ்வேறு அளவு சொரசொரப்பாகக் காணப்படுகிறது. இத்தகைய மாற்றங்கள் நிலாவிலும் காணப்படுவதாகப் பிற்காலத்தில் அறியப்பட்டது.

**வியாழன் (Jupiter)**

1973-ல் *JPL* ஆய்வுக்கூட ஆராய்ச்சியாளர்களும், 1964-ல் கோட்டல் நிக்கோவும் அவரது கூட்டாளிகளும் வியாழனில் ரேடியோ எதிரொளிப்புகள் நடைபெறுவதாகக் கூறினார்கள். *JPL* ஆய்வாளர்கள் தொடர் அலை ராடாரை, 2388 மெகா சுற்றுகளில் இயங்கச் செய்து, செவ்வாய், புதன் ஆகிய கோள்களை ஆராய்ந்தது போலவே வியாழனையும் ஆராய்ந்தனர். கிட்டத்தட்ட 166 நிமிடங்கள் ஏற்பு நேரத்தில் (receiving time) வியாழன் பகுக்கப்பட்டது. ஆனால் இவர்களின் ஆராய்ச்சிகளின் பலனாகக் குறிப்பிடத்தக்க எதிரொளிப்புப் புள்ளி விவரச் சான்றுகள் எவையும் கிட்டவில்லை. சைகை இரைச்சல் விகிதத்தைச் சீர்படுத்த அநேகப் பகுப்புப் பட்டை அகலங்களைத் தோற்றுவித்து முயற்சி செய்யப்பட்டது. இவற்றுள் பெரும மதிப்பைக் கொண்ட நிறமாலை அகலம் 3·3 *Kc*/வினாடி இருந்தது. அதன் இடப்பெயர்ச்சி கோளின் மையப் பகுதி அதிர்வெண்ணைவிட ஏறக்குறைய 2*KC*/ வினாடி அதிகமாகக் காணப்பட்டது. *JPL* முறையில் பெருமப் பிரிகை 398 *Kc*/வினாடி இருந்தது. இது விளிம்புப் பகுதியில் இருந்து வரும் எதிரொளிப்பை ஒத்திருக்கின்றது. எனவே உண்மையில் எதிரொளிப்பு ஏற்படும்பொழுது. அவைகள் மிருதுவான பகுதியிலிருந்துவரும் எதிரொளிப்பை ஒத்திருக்கின்றன. இம் மிருதுவான பகுதி கிடைமட்டத்திலிருந்து 0·6° சாய்ந்திருக்கிறது. சராசரி எதிரொளிப் பெண் பெருக்கற்பலன் $gP = 0 \cdot 6$ ஆக இருக்கின்றது. இம் மதிப்பு மற்றக் கோள்களுக்குக் கிடைக்கும் மதிப்பைவிட மிக அதிகம். சோவியத் நாட்டிலும், செவ்வாய்க் கோளுக்கு

உபயோகப்படுத்திய ராடார் அமைப்பின் நுட்ப உணர்வை. சுமார் 2 மடங்கு அதிகரித்து, 700MC/விநாடியில் இயங்கச் செய்து அளவீடுகள் எடுக்கப்பட்டன. பகுத்தல் பட்டை அகலம் 80 சுற்று/விநாடி-ஐப் பயன்படுத்தியபொழுது சராசரி எதிரொளிப்புப் பெருக்கற் பலனுக்கு அவர்கள் 0·1 என்ற மதிப்பைக் கண்டார்கள். பெட்டின்ஜல், டைஸ் ஆகிய இருவரும் 1965-ல் 430 மெகா சுற்றுகளில் வியாழனிலிருந்து வரும் எதிரொளிப்புகளை ஆராய்ந்தனர். அவர்கள் பயன்படுத்திய கருவி 10 மில்லி விநாடி துடிப்புகளை அனுப்பியது. எதிரொளிப்புகள் 100 சுற்றுகள்/விநாடி அருகில் ஆராயப்பட்டன. சோதனைகள் 1964 நவம்பர், டிசம்பர் மாதங்களில் வியாழன் பூமிக்கு வெகு அருகில் இருக்கும்பொழுது 8 நாட்கள் தொடர்ந்து நடத்தப்பட்டன. எல்லாத் தீர்க்கரேகைப் பகுதிகளிலும் + 3·3 அட்சரேகையில் ஆராயப்பட்டது. இந்தச் சோதனைகளினால் யாதொரு பலனும் ஏற்படவில்லை. பிறகு வெவ்வேறு சுழற்சி நேரங்களைப் பயன்படுத்தி தீர்க்கரேகையைப் பொறுத்து சைகைகள் தொகுக்கப்பட்டன. இருந்தபோதிலும் எதிரொளிப்பு நிகழ்ந்ததற்கான சான்று கிடைக்கவில்லை. அவர்கள் தொகுக்கப்பட்ட எதிரொளிப்பு எண்ணில் பெருக்கற்பலன் உச்ச மதிப்பு 0·045% ஆக இருக்க வேண்டுமென்று கூறினர்.

### கோணச் சிதறல் விதியின் அளவீடுகள்

மொத்த எதிரொளிப்புத் திறன் பரப்பின் மின்னியல் குணங்களைப் பற்றிக் கூறுகிறது. ஆனால் இந்த எதிரொளிப்புத் திறனின் பங்கீடு பரப்பின் சொர சொரப்புத் தன்மையைப்பற்றி கூறுகிறது. பரப்பு மிருதுவாக உள்ள பகுதிகளில் தளப் பரப்புச் சரிவின் (surface slope) உண்மையான பங்கீட்டு முறையை அறியலாம். ஒவ்வொரு கோளின் தோற்ற சுழற்சியானது சைகைகளின் பட்டை அகலத்தை அதிகரிக்கின்றது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Astronomy — *By R. H. Bacekr*
2. Radar echos from Venus — *By R. Price*
3. Radar Scatlering by Venus' and Mercury — *By D. O. Muhleman*
4. Radar detection of the planet Mercury — *By V. A. Kotelnikov*

# 27. ராடார் வானியல் முறைகள் : சாதனம்

## (Radar Astronomy Systems : Epuipment)

இப் பகுதியில் அதிகத் திறனுள்ள ராடார் வானியல் முறைகளின் முக்கிய கூறுகளின் அமைப்பைப் பற்றியும், அவை நிர்மாணிக்கும் முறைகள் பற்றியும் பார்ப்போம். ராடார், ராடார் பொறியியல் ஆகியவற்றைப் பற்றி அநேக நூல்களில் விளக்கப் பட்டுள்ளன. மாறாக, ராடார் வானியியலில் ஏற்பட்டுள்ள முன்னேற்றங்கள். மிகக் குறைந்த அளவுள்ள இத்தகைய அமைப்புகளால் உண்டானவை என்பதை நாம் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். இத்துறையில் எதிர் காலத்தில் ஏற்படக்கூடிய முன்னேற்றங்கள் ராடார் பொறியியலைப் பெரிதும் சார்ந்துள்ளமையால், அதைப்பற்றி நாம் சிறிது அறிந்துகொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

முதலில் ராடார் அமைப்புப் பற்றி முழுவதாகவும், அதில் முக்கியமான கூறுகள் யாவை என்பதைப் பற்றியும் பார்ப்போம். இரண்டாவதாக, ராடார் வானியியலில் பெரிதும் பயன்படுகின்ற பரவலை ய ஆன்டென்னுக்களின் அமைப்மைப் பற்றிப் பார்ப்போம். மூன்றாவதாக அதிகத் திறனையுடைய பரப்பிகளைப் பற்றியும், நான்காவதாக, சில குறை இரைச்சல் ஏற்பிப் பெருக்கிகளைப் பற்றியும் பார்ப்போம்.

உச்சத் திறன் $P_t$ வாட்டுகளை உண்டாக்கி ஒரு திசைப் பண்பியலான கதிர் வீசுவான் (Radiator) செலுத்துகின்ற ஒரு ரேடியோ அலை ஆற்றல் மூலத்தைக் கவனிப்போம். $R_1$ தூரத்தில் 1 சதுர மீட்டர் பரப்பைக் கடந்து செல்லுகின்ற ஆற்றல பாயம் (energy flux) $P_t/4\pi R_1^2$ வாட்டுகள்/மீட்டர்$^2$-ல் பெறப்படுகிறது. இத் தொலைவில் ஓர் இலக்கு இருப்பதாகவும் அது படுபாயத்தில்

(incidence flux) ஒரு பகுதியை வெட்டுவதாகவும், இந்த ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை திருப்பவும் வீசுவதாகவும் (re-radiation) கொண்டால் $R_2$ மீட்டர் தூரத்தில் உள்ள ஓர் ஏற்பியில் பாய அடர்த்தி எதிரொளிக்கப்பட்ட பாயம்

$$= \frac{P_t}{4\pi R_1^2} \frac{S}{4\pi R_2^2} \text{ வாட்டுகள்/மீட்டர்}^2 \quad \dots \quad (1)$$

இங்கு $S$ என்பது சமன்பாடு (1) ஆல் வரையறுக்கப்படும் இலக்கின் ராடார் குறுக்கு வெட்டாகும். இது, அதே இடத்தில் வைத்தால் அதே அளவு பாயத்தை ஏற்பிக்குத் திருப்பிக் கொடுக்கும் ஒரு முழு எதிரொளிப்புக் கோளத்தின் வீழ்ச்சிப் பரப்பிற்குச் சமமாகும். ஓர் இலட்சியக் கோளம் (perfect sphere) என்பது ஒரு திசையொப்புப் பண்பியலான சிதறடிப்பானுகும் (scatterer). பெரும்பாலான ராடார் வானியல் இலக்குகள் இலட்சியக் கோளங்கள் அல்ல. எனவே இந்த இலக்குகள் சுழலும்பொழுது குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் ஏற்ற இறக்கமடையும். பரப்பி, ஏற்பி ஆகிய இரண்டும் பூமியில் இருந்தால் வெகு தொலைவில் உள்ள இலக்குகளுக்கு $R_1 = R_2 = R$ என்றும் ஆகும். இலக்கில், திறன் பாயத்தை (power flux) அதிகரிக்கத் திசை விளைவு ஆன்டென்னு பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு திசையொப்புப் பண்பியலான மூலத்தில், ஆன்டென்னு இலாபம் $G$ என்று கொண்டால்,

$$\text{எதிரொளிக்கப்பட்ட பாயம்} = \frac{G P_t S}{(4\pi R^2)^2} \text{ வாட்டுகள்/மீட்டர்}^2 \quad \dots \quad (2)$$

ஏற்பியைச் செயலுறு திரட்டும் பரப்பு (effective collecting area), $A$ சதுர மீட்டர் உடைய ஆன்டென்னுவுடன் இணைத்தால் பிறகு அகவாய் முனைகளில் சேருகின்ற திறன் $P_r$

$$P_r = \frac{P_t G A S}{(4\pi R^2)^2} \text{ வாட்டுகள்} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகின்றன. பெரும்பாலும் பரப்புதலுக்கும், ஏற்புதலுக்கும் ஒரே ஆன்டென்னுவே பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது ஒரு பரவளையமாகவோ அல்லது அதையொத்த ஓர் அமைப்பாகவோ இருந்தால் $G$, $A$ ஆகிய இரண்டும்,

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

என்ற சமன்பாட்டால் இணைக்கப்படுகின்றன. ஆகவே சமன்பாடு (3) ஐ

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 S}{4\pi (4\pi R^2)^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

என்று எழுதலாம்.

நடைமுறையில், $G$, வானத்தில் உள்ள இலக்கின் கோண இருப்பிடத்தைப் பொறுத்து அமையும். எனவே சமன்பாடு (5), இலக்கின் கோணப் பரப்பு, ஆன்டென்னுக் கற்றையின் கோணப் பரப்புடன் ஒப்பிடும்பொழுது சிறியதாகும் என்பதைக் குறிப்பாகச் சொல்கிறது. இது கோளியல் ஆராய்ச்சியில் பெரும்பாலும் தவிர்க்க முடியாத அளவு உண்மையாகும். ஆனால் சூரியன், சந்திரன் ஆகியவற்றில் அப்படியல்ல.

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $S$, இலக்கின் தன்மையைப் பொறுத்ததாகும். இது பொறியியல் வல்லுநரின் கட்டுப்பாட்டுக்குட்பட்டதல்ல. சந்திரன், (புதன், வெள்ளி செவ்வாய் ஆகிய) உட்கோள்கள், முதலியவற்றிற்கு $S$-ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ $0 \cdot 1\pi a^2$ ஆகும். இங்கு '$a$' கோளத்தின் ஆரத்தைக் குறிக்கும். சந்திரன், கோள்கள், சூரியன் ஆகியவற்றின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகளின் அளந்தறியப்பட்ட மதிப்புகள் அந்தந்தப் பகுதிகளில் தரப்பட்டுள்ளன. ஏற்பி, வானவெளி ஆகியவைகளில் உண்டாகும் இரைச்சல்களின் பின்னணியில், எதிரொளிப்புத் திறனை அறியக்கூடிய அளவிற்கு அது வலுவுடையதாக இருக்க வேண்டும். ஏற்பியின் புறவாய் முனைகளில் மொத்த இரைச்சல் திறன் $P_N$

$$P_N = K\,T_s\,b \text{ வாட்டுகள்} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

இங்கு

$K$ — போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி ($1 \cdot 38 \times 10^{-23}$ ஜூல்கள்/$K$)

$T_s$ — அமைப்பின் வெப்பநிலை (system temperature)

$b$ — ஏற்பியின் செயலுறு பட்டை அகலம்

கொடுக்கப்பட்ட $f$ அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட சைன் அலை வடிவச் சைகைக்கு ஏற்பியின் மின்னழுத்தத்தை அளந்து, அதன் பட்டை

அகலத்தைக் கணக்கிடலாம். அதிர்வெண் $f$-ல் ஏற்பியின் மின் அழுத்தம் $v(f)$ என்று கொண்டால்

$$b = \frac{1}{\bar{v}^2} \int_0^\infty v^2 (f)\, df \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

அமைப்பு வெப்பநிலை $T_s$ சமன்பாடு (6) ஆல் வரையறுக்கப்படுகிறது. இது ஆன்டென்னு நோக்குகின்ற ரேடியோ பொலிவு வெப்பநிலை $T_A$ ஐயும் ஏற்பியில் உண்டாக்கப்படும் இரைச்சலையும் சார்ந்துள்ளது. அதாவது

$$T_S = T_A + (N - 1)\, T_R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

இங்கு $N$ என்பது ஏற்பியின் இரைச்சல் எண் ஆகும். $T_R$ என்பது அறை வெப்பநிலை (290° $K$). ஆன்டென்னு வெப்பநிலை $T_A$, ராடாரின் அதிர்வெண்ணின் சார்பாகும். இது ஆன்டென்னுக் கற்றை, சூரியன், அண்டத்தளம் (galactic plane) அல்லது காசியோப்பியா (cossiopeia), சைஜ்னஸ் (cygnus) போன்ற வலுவான தனித்தனி மூலங்களின் திசையில் வீசப்பட்டுள்ளதா என்பதைப் பொறுத்தமையும். பெரும்பாலும், ஏற்பியின் முனைகளை ஆன்டென்னுவுடன் இணைக்கும் ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகள் (transmission lines) $L$ என்ற இழப்பை உண்டாக்கும். அப்பொழுது ஏற்பியின் முனைகளில் ஆன்டென்னு வெப்பநிலை $T_{A'}$,

$$T_{A'} = (1 - L)\, T_A + L \cdot T_R \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படும்.

ஏற்பியை இரைச்சலற்றதாகவும், ஆனால் $(N - 1)\, T_R\, Kb$ வாட்டுகள் அளவுள்ள இரைச்சல் மூலத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளதாகவும் கொண்டு ஏற்பியின் அகவாய் முனைகளில் கிடைக்கின்ற சைகை - இரைச்சல் தகவை $\left(\frac{P_r}{P_N}\right)$ நம்மால் கருத முடியும். ஏற்பியின் பங்கை (role) இப்பொழுது ஓர் எளிய பெருக்கும் சாதனமாகக் கருதலாம். இது $P_r$, $P_N$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை அதிகரிக்குமே ஒழிய அவற்றின் தகவை அதிகரிக்க முடியாது. எதிர்பார்க்கப்படும் சைகை - இரைச்சல் தகவை (signal to noise ratio) ராடார் சமன்பாட்டை கீழே கொடுக்கப்பட்டவாறு கூறலாம்.

$$\frac{P_r}{P_N} = \frac{P_t\, G^2\, \lambda^2\, S}{4\pi\, (4\pi R^2)\, K T_s\, b} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

சமன்பாடு 10-லிருந்து $b$-ன் மதிப்பைக் குறைத்து சைகை - இரைச்சல் தகவை எல்லையற்ற அளவு அதிகரிக்கலாம் என்று தோன்றுகிறது. ஆனால் நடைமுறையில் இது முடியாத காரியம் ஆகும். பரப்பப்படும் சைகைகள் $T$ விநாடிகள் நேரமுள்ள துடிப்புகளாக இருந்தால் அவை $\sim \frac{1}{T}$ சுற்றுகள்/விநாடி உள்ள அதிர்வெண் பட்டைகளைப் பெற்றிருக்கும். ஏற்ற இறக்கமற்ற [புள்ளி இலக்குகளுக்கு ஏற்பியின் செலுத்தும் பட்டை (pass band) பரப்பப்படும் துடிப்பில் உள்ள ஆற்றல் அளவுடன் ஒத்துப்போகும் அளவு பொறுத்தப்படும் பொழுது பெரும் அளவில் சைகை - இரைச்சல் தகவு பெறப்படுகிறது. அதாவது $b = \frac{1}{T}$ சுற்றுகள்/விநாடி ஆகும். ஏற்பி செலுத்தும் பட்டையின் உருவம் பிரத்தியேகமாகச் செய்யப்பட்ட வடிகட்டியிலுள்ள சில கூறுகளால் பொதுவாகக் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. ஆகவே ஒரு லட்சிய வடிகட்டியை அமைப்பது இயலாததாகும். எனவே பரப்பியின் நிறமாலைக்கும், செலுத்துப் பட்டையின் சார்பலனுக்கும் இடையே ஒரு பொறுத்தமற்ற நிலை ஏற்பட்டு சிறிது ஆற்றல் விரயமாகும்.

ஆழமான ஏற்ற இறக்கமற்ற இலக்குகளுக்குக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $S$, துடிப்பு நீளம் $T$-ன் ஒரு சார்பலனாக இருக்கும். ஏனெனில் கோள்களில் ராடார் ஆழம் (radar depth) $\tau \left(= \frac{2a}{c}\right)$ எப்பொழுதும் 10 மில்லி விநாடிகளுக்கு அதிகமாகும். எனவே, பொதுவாக $\tau \geqslant T$ ஆகும். குறுகிய துடிப்புகளைப் பயன்படுத்தும் பொழுது ராடாரை நோக்கி இருக்கின்ற கோளின் அரைக்கோளம் முழுமையாக ஒளியூட்டப்பட்டு ஆற்றலை எதிரொளிப்பதில் தன் பங்கைச் செலுத்த முடியாது. பொதுவாக, வெள்ளி, புதன் ஆகிய இரண்டையும் ஒரு துடிப்பு ராடாரினால் ஆராயும் பொழுது அவை ஆழமான ஏற்ற இறக்கமற்ற இலக்குகள் எனக் கொள்ளலாம். அதாவது, அவைகளின் சுழற்சியால் ஏற்படுகின்ற டாப்ளர் அகலம் பெரும்பாலும் $\frac{1}{T}$ சுற்றுகள்/விநாடி-ஐ விட மிகவும் குறைவாக இருக்கும். எனவே, ஏற்பியைப் பரப்பியின் துடிப்புடன் இணைக்க முற்படும் பொழுது அதை ஒதுக்கி விடலாம். செவ்வாய்க்கு ராடார் அதிர்வெண், துடிப்பு நீளம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து சுழற்சி அகலத்தை எடுத்துக் கொள்ளும்படி நேரிடலாம்.

பரப்பல் ஒரு தொடர் அலை ($cw$) மூலமாகச் செய்யப்பட்டால் ஏற்பியன் பட்டை அகலம் $b_{cw}$ மிகவும் சிறியதாக இருக்கக்கூடும்.

ஆனால் இது (1) கோள்களின் சுழற்சியினால் புகுத்தப்படும் டாப்ளர் விளைவு (2) ராடாரின் அதிர்வெண் கட்டுப்படுத்தும் அமைப்பின் (frequency control system) நிலையற்ற தன்மை ஆகியவைகளால் வரம்பு செய்யப்படுகிறது. மேலே கூறப்பட்டவற்றில் இரண்டாவது விளைவைத் தவிர்க்க முடியுமானால் செலுத்தும் பட்டைப் பண்புகளின் பெருமம், எதிரொளிக்கும் திறன் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்துப் பங்கீடு செய்யப்படும் முறையை ஒத்திருக்கும்.

சமன்பாடு (10), ஒரு துடிப்பு ராடாரில் எதிர்பார்க்கக் கூடிய சைகை - இரைச்சல் தகவைக் கொடுக்கிறது. பல மாதிரிச் சைகைகளையும், இரைச்சல்களையும் ஒன்றாகச் சேர்த்து, சைகை - இரைச்சல் தகவின் நிலையற்ற தன்மையைக் குறைக்க முடியும். சார்பற்ற '$n$' எண்ணிக்கையுள்ள இரைச்சலுக்குச் சராசரி கண்டால், இரைச்சல் திறன் $P_N$-ல் சராசரி இரு மடியின் இருமடி மூல நிலையற்ற தன்மையை $\frac{P_N}{\sqrt{n}}$-க்குக் குறைக்கலாம். வெவ்வேறு தொலைவுகளுக்குச் சரியான ஏற்பியின் வெளிவரு மின் அழுத்தத்தைக் கண்டு (அல்லது தொடர் அலை ஏற்பியில் பல்வேறு அதிர்வெண்களுக்கு) $\frac{P_r}{P_N} < 1$ ஆக இருந்தாலும் எதிரொளிப்புகளைப் பகுக்க முடியும். ஏனெனில் $P_r / P_N / \sqrt{n}$-ன் மதிப்பு தொகுனியாக்கப்படும்பொழுது ஒன்றைவிட அதிகமாகிறது. எல்லா ராடார் வானியல் அமைப்புகளிலுமே தொகுனியாக்க முறை பயன்படுத்தப்படுவதால் சமன்பாடு (10)ஐ மாற்றியமைக்க வேண்டும். பொருத்தப்பட்ட தொடர் அலை ராடாரில், ஒரு வினாடிக்கு $b_{cw}$ சார்பற்ற சைகை இரைச்சல் மாதிரிகள் இருக்கும். எனவே, ஒரு வினாடித் தொகுதியாக்கத்திற்குப் பிறகு $P_r / P_N$ ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{P_r}{P_N} = \frac{P_{cw}\, G^2\ \lambda^2\ S}{4\pi\, (4\pi\, R^2)^2\ K T_s\, b_{cw}^{\frac{1}{2}}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

பொருத்தப்பட்ட வடிகட்டி, $b_{cw}$-ன் அகலம் இலக்கின் சிதறடிக்கும் குணங்களையும், அதன் சுழற்சி நேரத்தையும் பொறுத்திருக்கும். அலை நீளத்தை மாற்றினால் $b_{cw}$ ஐத் தகுந்தவாறு மாற்ற வேண்டும். எனவே ஒரு தொடர் அலை அமைப்பில் மற்றெல்லாம் நிலையாக இருக்கும்பொழுது $\frac{P_r}{P_N} \propto \lambda^{\frac{3}{2}}$ ஆகும். ஒரு துடிப்பு ராடாரில் ஒரு வினாடிக்கு $n$ துடிப்புகள் அனுப்பப்படுவதாகக்

கொள்வோம். இவைகளை இரண்டு விதங்களில் சேர்க்கலாம். அதாவது ஒரு விதத்தில் துடிப்புகள் மாறியல் (incoherent) முறையில் சேர்க்கப்படுகின்றன. இவ்வழியில் திறன்கள் நேரடியாகக் கூட்டப்படுகின்றன. மற்றொன்றில் ஓரியல் (coherent) முறையில் சேர்க்கப்படுகின்றன. இங்கு மின்னழுத்தங்கள் நேரடியாகக் கூட்டப்படுகின்றன. மாறியல் முறை நடைமுறையில் எளிதானது. இம் முறையில் ஒரு விநாடியில் சைகை-இரைச்சல்

$$\text{தகவு} \quad \frac{P_r}{P_N} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 S n^{\frac{1}{2}}}{4\pi (4\pi R^2)^2 K T_s b_p} \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

ஆகும்.

இங்கு $b_p$ என்பது பரப்பப்பட்ட துடிப்பியின் நிறமாலையுடன் இணைக்கப்படுகிறது. இங்கு, கோளின் சுழற்சியினால் தூண்டப்படும் நிறமாலை அகலம் $b_p$ உடன் ஒப்பிடப்படும்பொழுது மிகவும் சிறியதாகையால் ஒதுக்கப்பட்டது. சமன்பாடு (12)-லிருந்து $\frac{P_r}{P_N} \propto \frac{n^{\frac{1}{2}}}{b_p}$ என்று தெரிகிறது. பரப்பியின் சராசரித் திறனில் $n$-ன் மதிப்பு வரையறுக்கப்படுமானால், $n$-ன் மதிப்பைக் குறைத்து, துடிட்பின் நீளம் $T$ ஐ அதிகரிக்கலாம் என்றும், $n$-ன் மதிட்பை அதிகரித்து, துடிப்பின் நீளம் $T$ ஐக் குறைக்கலாம் என்றும் தெரிகிறது. $T \propto \frac{1}{b_p}$ ஆனதால், சைகை இரைச்சல் தகவின் பெரும மதிப்பு மிக நீண்ட துடிட்பிற்குப் பெறப்படும். அதாவது

$$\frac{P_r}{P_N} \propto T^{\frac{1}{2}}$$

ஒவ்வொரு துடிப்பிலிருந்தும் வருகின்ற எதிரொளிப்புகளின் கட்டங்கள் ஓரியலில் இருந்தால், எதிரொளிப்புகளை அவைகளின் திறன்களின் அடிப்படையில் கூட்டுவதற்குப் பதிலாக மின்னழுத்த அடிப்படையில் கூட்டலாம். இந்நிலையில் சைகை இரைச்சல் தகவு கூட்டப்பட்ட துடிப்புகளின் எண்ணிக்கையோடு நேரடியாக அதிகரிக்கிறது. இது முதல் துடிப்பிலிருந்து கடைசித் துடிப்பிற்கு கட்ட ஓரியல் இருக்குப்பொழுது மட்டுமே நிகழும். நடைமுறையில் கோளின் சுழற்சியால் ஏற்படுகின்ற டாப்ளர் அகலத்துடன் பொருத்தப்பட்ட குறுகிய வடிகட்டியின் பட்டை அகலத்தைத் ($b_{cw}$) தொகுப்பதற்கு ஓர் இலக்க எண்ணி (digital computer) பயன்படுத்தப்படுகிறது. கட்ட ஓரியல் $\frac{1}{b_{cw}}$ விநாடி

கள் இருக்கும். வடிகட்டி தானாகவே $\frac{n}{b_{cw}}$ துடிப்புகளைத் தொகுக்கும். இந்த வடிகட்டியின் வெளிவரு திறன் பிறகு மாறியலாகக் கூட்டப்படுகிறது. அதாவது ஒரு வினாடிக்கு $b_{cw}$ சார்பற்ற மாதிரிகள் கூட்டப்படும். இவ்வாறு ஒரு வினாடியில் முன்னேற்றம் $\frac{n}{b_{cw}} \times b_{cw}^{\frac{1}{2}}$, அதாவது $nb_{cw}^{-\frac{1}{2}}$. எனவே சமன்பாடு (10)ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{P_r}{P_N} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 Sn}{4\pi(4\pi R^2)^2 KT_s\, b_p\, b_{cw}^{\frac{1}{2}}} \quad \cdots \quad (13)$$

சமன்பாடுகள் (11), (13) ஐ ஒப்பிடும்பொழுது ஓரியல் துடிப்பு ராடாரில் சைகை - இரைச்சல் தகவு உள்ளதென்றும் இதுவும் $\lambda^{\frac{3}{2}}$ முறையிலேயே மாறுகிறதென்றும் தெரிகிறது. மேலும் ஒரு வினாடியில் உள்ள துடிப்புகள் $n$, திறனால் வரம்பிடப்பட்டால், $n.T.P_t$ என்பது துடிப்பு ராடாரின் சராசரித் திறனாகும். இதை $\frac{P_t n}{b_p}$ என்று எழுதலாம். இவ்வாறு சமன்பாடு (13)-ல் உள்ள $\frac{P_t n}{b_p}$ என்ற உறுப்பு (term), சமன்பாடு (11)-ல் உள்ள $b_{cw}$ என்ற உறுப்புடன் நேரடியாக ஒப்பிடப்படும். ஓரியில் முறையைப் பயன்படுத்தினால் ஒரு தொடர் அலை ராடாரும், ஒரு துடிப்பு ராடாரும் எல்லா விதங்களிலும் ஒத்த சராசரிப் பரப்பித் திறன்கள், ஆன்டென்னா இலாபங்கள், ஆகியவற்றைப் பெற்றிருக்கும்பொழுது சம அளவு பகுக்கும் திறனையும் பெற்றிருக்கும். துடிப்புப் பரப்பியிலுள்ள கூடுதலான நன்மை, தொலைவைப் பகுத்துக் காண முடிவதேயாகும். ஓரியல் முறையை முடிவுகளுக்குச் செயல்படுத்தும் பொழுது சைகை - இரைச்சல் தகவு, துடிப்பு நீளத்தைச் சார்ந்ததல்ல. இது இரண்டாவது நன்மையாகும். இது புள்ளி இலக்குகளுக்கு மட்டுமே முழுமையாகப்பொருந்தும். ஒரு கோளைப் போன்ற பரவலான இலக்குக்குத் துடிப்பின் நீளம் குறையும்பொழுது எதிரொளிப்புத் திறன் சிறிது குறையும். குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $S$ ஐயுடைய ஒருகொடுக்கப்பட்ட இலக்கு, தொலைவு $R$-ல் சற்றுத் தெரியும்பொழுது சமன்பாடுகள் (1), (3) ஐத் தொலைவு $R$-ன் அடிப்படையில் மாற்றியமைக்கலாம். ஒரு தொடர் அலை ராடாருக்கோ அல்லது ஒரு துடிப்பு ராடாருக்கோ ஓரியல் முறை இருக்கும்பொழுது,

$$R \propto \left[\frac{P_{cw}\, G^2\, \lambda^2}{K\, T_s\, b_{cw}^{\frac{1}{2}}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டை ஆன்டென்னு இலாபம் $G$-ன் அடிப் படையில் சொல்வதற்குப் பதிலாக, செயலுறுத் துளை $A$-ன் அடிப் படையில் சொல்லும்பொழுது, $A \propto r^2$ ஆனதால் ($r$ என்பது எதிரொளிப்பானின் ஆரமாகும்)

$$R \propto' \left[\frac{r^4\, P_{cw}}{\lambda^2\, T_s\, b_{cw}^{\frac{1}{2}}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$\propto \frac{r}{\sqrt{\lambda}} \left[\frac{P_{cw}}{T_s}\right]^{\frac{1}{4}} \times \left[\frac{1}{b_{cw}}\right]^{\frac{1}{8}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

சமன்பாடு (16)-லிருந்து தொலைவு $R$, ஆன்டென்னுவின் ஆரம் $r$ உடன் நேரடியாக மாறுகிறதென்றும், மற்றவைகளுடன் அவ்வள வாகச் சார்ந்ததல்ல என்பதும் தெரிகிறது. $\frac{r}{\sqrt{\lambda}}$-ன் பெரும மதிப்பு ஆன்டென்னுவின் அமைப்பால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. எந்த ஒரு ராடார் வானியல் அமைப்பிலும் $\frac{r}{\sqrt{\lambda}}$-ன் மதிப்பு தனி முக்கியத் துவம் வாய்ந்ததாகும். $P_{cw}$, $T_s$ ஆகியவற்றின் முன்னேற்றங்கள் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவைகளாக இருந்த போதிலும், அவை தொலைவு $R$ ஐ $\frac{1}{4}$ அடுக்குதான் அதிகரிக்கின்றன. ராடார் சாரா மாறிகளில் பொறுத்தப்பட்ட வடிகட்டிப்பட்டை அகலம், $b_{cw}$, மிகக் குறைந்த அளவு முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும். மாறியில் தொகுப்பைப் பயன்படுத்துகின்ற துடிப்புப் பரப்பிக்குச் சமன்பாடு (16)-க்கு ஒத்த சமன்பாடு

$$R \propto \frac{r}{\sqrt{\lambda}} \left[\frac{P_t}{T_s}\right]^{\frac{1}{4}} T^{\frac{1}{8}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

பெறப்படுகிறது.

சமன்பாடுகள் (16), (17) ஆகியவற்றிலிருந்து உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்த கோளியல் ராடார் அமைப்பைச் செய்வதற்கு ஒரு பெரிய எதிரொளிப்பான் வேண்டும் என்று தெரிகிறது. சிறிய ஆன்டென்னுவில் துடிப்புத் திறனை அதிகரித்தோ அல்லது அமைப்பு வெப்பநிலையைக் குறைத்தோ இதை ஈடு செய்ய முடியாது.

அட்டவணை 27·1 சில ராடார் வானியல் நிலையங்களை ஒப்பிடுதல்

| ஆராய்ச்சி நிலையம் | இடம் | அதிர்வெண் $Mc/s$ | ஆன்டென் இ விட்டம் $(ft)$ | இலாபம் $(db)$ | இடையிடம் அல்லது துளை $(m^2)$ | இடையிடம் $db$ $1m^2$ மேல் | சராசரித் திறன் $(Kw)$ | உச்சத் திறன் $(Kw)$ | துடிப்பு நீளம் $(T)$ | $PRF$ $(n)$ | $T_s$ | வெள்ளிக்கு $bcw$ $(c/s)$ | செவ்வாய்க்கு $bcw$ $(c/s)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| கார்னெல் பல்கலைக் கழகம் | ஆரிசிபோ, பியர்டோரிகோ | 430 | 1,000 | 57 | 20,000 | 43·0 | 150 | 2,500 | 0·1—10 0 மில்லி விநாடி | மாறி | 400° | 1 | 100 |
| கிரிமியன் டீப் வான்வெளி துருவும் நிலையம் | கிரிமியா (USSR) | ~700 | 8 × 50 | ~46·8 | 700 | 28 4 | (60) | (60) | $cw$ | $cw$ | (100°) | 1 | 200 |
| கலிபோர்னியா தொழில் நுணுக்க ஆராய்ச்சிக் கூடம் JPL | கோல்டு ஸ்டோன் லேக், கலிஃபோர்னியா | 2388 | 85 | 54·2 | 355 | 25·5 | 100 | 100 | $cw$ | $cw$ | 30° | 6 | 600 |
| மான்செஸ்டார் பல்கலைக் கழகம் MIT | ஜோட்ரல் பாங்க் இங்கிலாந்து வெஸ்ட் ஃபோர்டு | 408 | 250 | 47·3 | 2,300 | 33·6 | 1·5<br>5 | 60<br>5 | 30 மில்லி விநாடி<br>$cw$ | 1<br>$cw$ | 1200°<br>1100° | 1<br>1 | 100<br>100 |
| லிங்கன் ஆராய்ச்சிக் கூடம் MIT | மாசசுசெட்ஸ் (மில்ஸ்டோன்) டைங்ஸ்போரோ | 1295 | 84 | 46·5 | 190 | 22·8 | 150 | 5,000 | 0·1—4 0 மில்லி விநாடி | மாறி | 80° | 2 | 300 |
| லிங்கன் ஆராய்ச்சிக் கூடம் | மாச்சுசெட்ஸ் (ஹேஸ்டேக்) | 8000 | 120 | 66 8 | 525 | 27 2 | 100 | 100 | $cw$ | $cw$ | 100° | 20 | 2000 |

அட்டவணை 27·1-ல், தற்போது உள்ளது சில கோளியல் ராடார் அமைப்புகளின் சாரா மாறிகள் (parameter) கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. இந்த அமைப்புகள் எல்லாவற்றிலும் சைகைகள் ஓரியல் முறையில் கூட்டப்பட்டதாகக் கொண்டு ஒப்பிடப்பட் டுள்ளன. சராசரி பரப்பித் திறன்களையும், மற்றப் பங்கீடுகளையும் சமன்பாடு

$$\frac{P_r}{P_N} = \left[\frac{P_{cw}\,GA}{KT_s\,(b_{cw})^{\frac{1}{2}}}\right] \left[\frac{S}{(4\pi R^2)^2}\right] \quad \cdots \quad (18)$$

-ல் ஒப்பிட்டு அணிகளின் சார்புத் திசை நுட்பங்களைக் கணக் கிடலாம். மேலே கண்ட சமன்பாடு ஒரு விநாடி தொகுனியாக்கத் திற்குப் பிறகு சைகை இரைச்சல் தகவைத் கொடுக்கிறது.

முன் பக்கத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அட்டவணை 27·1-ல் முதல் அடைப்பில் உள்ள உறுப்புகள் சாதனத்தின் சாரா மாறிலிகளைச் சார்ந்துள்ளன. அட்டவணை 27·1-ல் உள்ள உறுப்புகள் ஒவ் வொன்றையும் *db*-களில் கூட்டி அவற்றை ஒரே எண்ணாகக் குறிப்பிடலாம். இந்த முடிவுகள் கீழே காட்டப்பட்டுள்ள அட்ட வணை 27·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 27·2

செவ்வாய்க்கும், வெள்ளிக்கும், பல்வேறு ராடார் வானியல் நிலையங்களுக்கு உணர்வு நுட்ப எண்கள்.

| இருப்பிடம் | $\frac{P_{cw}\,G\,A}{KT_s\,b_{cw}^{\frac{1}{2}}}$ db வெள்ளிக்கு | $\frac{P_{cw}\,G\,A}{K\,T_s\,b_{cw}^{\frac{1}{2}}}$ db செவ்வாய்க்கு |
|---|---|---|
| ஆர்சிபோ | 354·4 | 344·4 |
| கிரிமியா | 331·6 | 320·1 |
| கோல்டுஸ்டோன் | 339·5 | 329·6 |
| ஜோட்ரல் பாங்க் (துடிப்பு ராடார்) | 310·5 | 300·5 |
| ஜோட்ரல் பாங்க் (*cw*) | 316·1 | 306·1 |
| *M I T* (துடிப்பு ராடார்) | 329·2 | 318·3 |
| *M. I. T.* (*cw*) | 346·2 | 336·1 |

அட்டவணையிலிருந்து ஆர்சிபோ ராடார் அணி, *MIT (cw)* அணியை விட அதிக உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்ததாகத் தெரிகிறது. *MIT (cw)* அணி, கோல்டுஸ்டோன் அணியைவிட ஏறத்தாழ 7*db*-கள் அதிகமாக உணர்வு நுட்பத்தைப் பெற்றுள்ளது என்பதும் தெரிகிறது. *MIT* துடிப்பு ராடாரும், *USSR* கிரிமியா ராடாரும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவு உணர்வு நுட்பம் வாய்ந்தவை. இவை கோல்டுஸ்டோன் ராடாரைவிட 10 *db*-கள் குறைவான உணர்வு நுட்பம் உடையவை. அட்டவணை 27·2-ல் கொடுக்கப்பட்ட எண்கள் ஊட்டுக் கம்பியில் ஏற்படும் ஆற்றல் விரயத்திற்குத் திருத்தம் செய்யாமலே பெறப்பட்டவை. இந்த விரயம் *MIT* துடிப்பு ராடாரில் 2*db* ஆகவும், *MIT (cw)* ராடாரில் 4*db* ஆகவும் உள்ளன. இவைகளில் சில முன்னேற்றங்கள் செய்யப்பட்டு அண்மையில் இந்த விரயம் கணிசமாகக் குறைக்கப்பட்டது. ஆர்சிபோ அணியில் ஆன்டென்ை இலாபம் முழு அளவை அடையும்பொழுது அதன் உணர்வு நுட்பம் 6*db* கள் அதிகரிக்கும். கோல்டுஸ்டோன் ராடார் அணியில் 85 அடி விட்டமுள்ள ஆன்டென்னு 210 அடி விட்டமுள்ள ஆன்டென்னுவினுல் மாற்றப்பட்டபொழுது அதன் முடிவுகளில் முன்னேற்றங்கள் காணப்பட்டன. அப்பொழுது அதன் உணர்வு நுட்பம் ஆர்சிபோவின் உணர்வு நுட்பத்திற்கு ஏறத்தாழச் சமமாக இருந்தது.

அட்டவணை 27·2-ல் வெள்ளி, செவ்வாய் ஆகியவற்றிற்கான உணர்வு நுட்பங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. புதனில் ஏற்படும் டாப்ளர் விளைவு, வெள்ளியின் டாப்ளர் விளைவை ஒத்திருப்பதால் அதைத் தனியே காட்ட வேண்டியதில்லை. வெள்ளிக்கும், செவ்வாய்க்கும் உள்ள முடிவுகளில் தோன்றும் மாறுபாடுகள், செவ்வாயின் சுழற்சி வீதம் மிகவும் அதிகமாக இருப்பதால் உண்டாவதாகும். அட்டவணை 27·2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள உணர்வு நுட்பங்களைச் சுமார் 20*db* கள் வரை, காட்சிப் பதிவுகளை 10.000 விநாடிகளுக்குத் தொகுத்து, அதிகரிக்கலாம். இதைச் சாதாரணமாக ஒரே நாளில் செய்ய முடியும். சமன்பாடு (18)-ல் அடைப்பில் உள்ள இரண்டாவது உறுப்பு கோளின் தொலைவு, எதிரொளிப்புக் குணங்கள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது. அட்டவணை 27·3-ல் இந்த உறுப்பின் மதிப்புகளை *db*-ல் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. அட்டவணை 27·3 இரண்டாவது வீழ்ச்சிப் பரப்பின் விழுக்காட்டு அடிப்படையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 27·3

| கோள் | எதிரொளிப்பு விழுக்காடு | $S$ $(m^2)$ | பாதை இழப்பு $db$-யில் | சிறுமம் | பெருமம் |
|---|---|---|---|---|---|
| புதன் | 5 (*JPL*) | $9{\cdot}2\times10^{11}$ | $349{\cdot}38+40\ ln_{10}\ (t.d)$ | 339·4 | 355·2 |
| வெள்ளி | 10 (மில்ஸ்டோன்) | $1{\cdot}2\times10^{13}$ | $338{\cdot}17+40\ ln_{10}\ (t.d)$ | 316·7 | 347·4 |
| செவ்வாய் | 8 (*JPL*) | $2{\cdot}9\times10^{12}$ | $334{\cdot}35+40\ ln_{10}\ (t.d)$ | 337·3 | 358·7 |

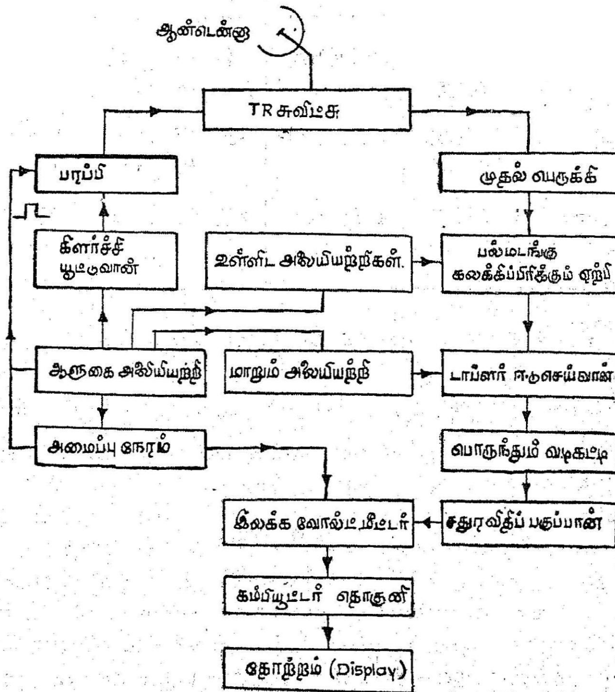
$(t.d)$ உண்மையான தூரம் (வானியல் அலகில்)

உறுப்பு $=\frac{S}{(4\pi R^2)^2}$ பாதை இழப்பு என்று அழைக்கப் படுகிறது. இதன் மதிப்புகள் அட்டவணை 27·2-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ள உணர்வு நுட்ப வரம்புகளைவிட 15 $db$-க்குக் குறைவாக இருந்தால், கோளை ஆராய முடியும். அட்டவணை 27·3-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள முடிவுகளைப் பற்றிச் சிறிது நிலையற்ற தன்மையுள்ளது. ஆயினும் அட்டவணைகள் 27·2, 27·3, ராடார் சமன்பாட்டை இரு கூறுகளாக எவ்வாறு பகுக்கலாம் என்பதைக் காட்டுகின்றன. அவைகளின் மதிப்புகளுக்கிடையேயுள்ள வித்தியாசம் எதிர்பார்க்கக் கூடிய சைகை-இரைச்சல் தகவைக் கொடுக்கும்.

ராடார் வானியல் சோதனைகளுக்குச் செய்யப்பட்ட ராடார் அணிகள் அதிக வேறுபாடுகளைப் பெற்றிருக்கவில்லை. ஆனால் தரையில் உள்ள பொருள்களை ஆராய்வதற்கான ராடார்களிலிருந்து அவை பெருமளவு மாறுபட்டுள்ளன. படம் 27·1 கோள்களிலிருந்து எதிரொளிப்புகளை அறிவதற்கான ராடார் அணியின் அடிப்படைக் கூறுகளைத் திட்டப் பட முறையில் கூறுகின்றது.

ஆன்டென்ன பெரும்பாலும் பரவளைய ஆடி அமைப்பில் அதன் குவியத்தில் ஒரு கொம்பைப் (horn) பெற்றுள்ளது. இது ஆன்டென்னவிற்கு ஆற்றலை ஊட்டுகிறது. ஒரே ஆன்டென்னவில் பரப்பி, ஏற்பி ஆகியவற்றை மாற்றி மாற்றி இணைப்பதற்கு ஒரு *TR* சுவிட்சு பயன்படுகின்றது. கோள் எதிரொளிப்புகளுக்கு

மாற்று வீதம் (switching rate) மிகவும் குறைவானதால் பெரும்பாலும் எந்திர சுவிட்சுகளே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆன்டென்னாவின் அமைப்பைப் பற்றியும் உயர்திறன் பரப்பியைப் பற்றியும் பிறகு பார்ப்போம்.




படம் 27·1.

கோள்களின் எதிரொளிப்புகளை அறிவதற்கான ராடார் அணியின் திட்டப் படம்.

ஏற்பி பொதுவாக, ஒரு பல அடுக்குக் கலக்கிப் பிரித்தல் (multiple super heterodyne) அமைப்பைப் பெற்றுள்ளது. இதில் முதல் பெருக்க நிலைகள் (preamplifier) தாகை உண்டாகும். இரைச்சல்களைச் சிறுமமாக்கும் அளவிற்குப் பிரத்தியேகமாகச் செய்யப்பட்டுள்ளன, தற்போது பல்வேறு சாரா மாறிப் பெருக்கிகள் (parametric amplifires) மேசர்களுடன் சேர்ந்து, வழக்கமான வெற்றிடக் குழாய்களுக்குப் பதிலாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

ஆளுகை அலையியற்றி (Master oscillator)

கோள் ராடார் அணியில் அதிர்வெண்ணை நிலையாக வைத்திருப்பது மிக மிக முக்கியமாகும். இது தரை ராடார் அணிகளுக்கு அவ்வளவு முக்கியமல்ல. அதிர்வெண்ணை நிலையாக வைத்திருப்பதற்கான அவசியத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். காட்டாக, 1000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் ($10^9$ சுற்றுகள்/விநாடி) இயங்குகின்ற ஒரு ராடாரைப் பயன்படுத்தி வெள்ளியிலிருந்து எதிரொளிப்புகளைப் பெறுவதாகக் கொள்வோம். எதிரொளிப்புத் திறனின் பெரும்பகுதி 2 சுற்றுகள்/விநாடி அகலமுள்ள பட்டையில் அடங்கியிருக்கும். இப்பட்டையை 5% துல்லியமாக ஆராய விரும்பினால் நமக்கு $\frac{1}{10}$ சுற்றுகள்/விநாடி உணர்வு நுட்பமுள்ள அமைப்புத் தேவை. அதாவது அடிப்படை அலையியற்றி அதிர்வெண்ணை $\frac{1}{10^{10}}$-க்கு மேல் சைகை பரப்பப்பட்டு ஏற்பியை வந்து அடையும் நேரத்தில் மாற்றக் கூடாது. அதாவது 10 நிமிட நேரத்தில் மாற்றக் கூடாது.

இவ்வளவு நிலையான தன்மையைப் பெறுவதற்குத் தேவையான எல்லா அதிர்வெண்களும், ஒரே ஒரு வெகு நிலையான அலையியற்றியிலிருந்து (master oscillaror) பகுக்கப்படுகின்றன. பொதுவாக இது ஒரு குவார்ட்ஸ் படிக அலையியற்றியாகும். இதில் படிகத்தின் வெப்பநிலை ஓர் வெப்பநிலைக் காப்பானியால் (thermostat) கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. வெப்பநிலைக் காப்பானின் வெப்பநிலையே $\pm 0.01°C$ துல்லியமாகக் காக்கப்பட்டது. இணைந்த சுற்றுகளைக் கவனமாக அமைத்து, இந்த அலையியற்றிகள் ஒரு நாளில் $\frac{1}{10^9}$ மடங்கு நிலையான தன்மையைத் தரும்படி செய்யப்பட்டன. கண நேர நிலைத் தன்மை $\frac{1}{10^{10}}$ பங்காக இருந்தது.

படிக அலையியற்றியில் உள்ள படிகங்களில் எந்திர அலைவுகள் (mechanical oscillation) காரணமாக அவற்றின் வளையும் தன்மை (flexure) ஏற்படுவதால் படிகங்கள் முதுமைத் தன்மையை (aging) அடைகின்றன. எனவே எல்லாப் படிக அலையியற்றிகளிலும் அதிர்வெண் நாளடைவில் அதிகரிக்கின்றது. அண்மையில் செய்யப்பட்ட முன்னேற்றங்கள் இந்த அதிர்வெண் அதிகரிப்பை ஒரு நாளில் $\frac{5}{10^{11}}$ பங்கு குறைத்துள்ளன. அலையியற்றியைக்

குறைந்த மட்டத்தில் இயங்கச் செய்து, நீண்ட கால நிலைத் தன்மையை (long time stability) உறுதி செய்வதற்கான முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. ஆனால் இதனால் வெளி வரும் அளவின் சைகை-இரைச்சல் தகவு மிகவும் குறைவாக இருந்தது. அதனால் குறுகிய கால நிலைத் தன்மையும் (short term stability) குறைந்தது. இவ்வாறு குறுகிய கால நிலைத் தன்மை, நீண்ட கால நிலைத் தன்மையைவிட எப்பொழுதும் சிறந்தது என்றாகாது. சில அமைப்புகளில் அது மாறாகவும் இருக்கலாம். ராடார்களைப் பயன்படுத்தும் பொழுது அலையியற்றியை உயர் மட்டத்தில் இயங்கச் செய்து நீண்ட கால மாறுதல்களுக்குத் தேவையான முறையில் திருத்தங்கள் செய்வது உகந்ததாகும்.

அண்மையில் அணு அல்லது மூலக் கூறு அமைப்புடன் இயைந்த அடிப்படைக் கோட்டு ஒத்தியைவுகளைச் சார்ந்த அலையியற்றிகள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. பல்வேறு தேசீய சோதனைச் சாலைகளில் சீஷியம் கடிகாரங்கள் (cesium clock) பல ஆண்டுகளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. $\frac{1}{10^{13}}$ பங்கு குறுகிய நிலைத் தன்மையுடைய ஹைடிரஜன் மேசர்கள் நிறுவப்பட்டுள்ளன. ஒரு நாளில் $\frac{1}{10^{11}}$ நிலைத் தன்மையும், குறுகிய கால நிலைத் தன்மை $\frac{1}{10^{13}}$ பங்கையும் உடைய ருபீடியம் ஆவி அலையியற்றிகள் உருவாக்கப்பட்டு நடைமுறைக்கு வந்துள்ளன. குறுகிய கால நிலைத் தன்மையைவிட நீண்ட கால நிலைத் தன்மை தேவைப்படுகின்ற ராடார் அணிகளுக்கு இந்த அலையியற்றிகள் மிகவும் உகந்தனவாக உள்ளன. *MIT* மில்ஸ்டோன் ராடாரிலும், *JPL* கோல்டுஸ்டோன் ராடாரிலும் ருபீடியம் ஆவி அமைப்புகள் இதுகாறும் செய்யப்பட்டுள்ள பெரும்பாலான அளவீடுகளுக்குப் பயன்படுத்தபட்டுள்ளன. இரண்டு ராடார் அலைகளும் முக்கிய அதிர்வெண் அடிப்படையாக சமீப காலத்தில் ஹைடிரஜன், கோட்டு மேசருக்கு மாறியுள்ளன.

ராடார் நிலையங்களில் நேரத்தை மிகவும் துல்லியமாகக் கணிப்பதற்கு அவைகளில் உள்ள கடிகாரங்கள் ரேடியோ சைகைகளுடன் ஒத்தியைவு செய்யப்பட்டுள்ளன. இந்த நிலையங்களில் கோள்களின் தொலைவும், திசை வேகமும், இதுவரையில் அறியப்படாத அளவு துல்லியமாக அளக்கப்பட்டுள்ளன.

**உள்ளிட அலையியற்றி** (Local oscillator)

இன்றைய அலையியற்றிகளில் உள்ள உயர்ந்த அதிர்வெண் நிலைத் தன்மையை முழுவதுமாகப் பயன்படுத்திக்கொள்ள பரப்பி, ஏற்பி ஆகியவற்றின் அதிர்வெண்களை ஒரே ஓர் அலையியற்றியால் கட்டுப்படுத்துகின்றனர். இதைச் செய்கின்ற ஒரு தொகுப்பு படம் 27·2-ல் காட்டப்பட்டு உள்ளது.



படம் 27·2.

*நிலா ராடார் சாதனத்தில் அதிர்வெண்ணைக் கட்டுப்படுத்தும் முறையின் திட்டப் படம்*

இந்த அமைப்பில் பரப்பியின் தேவையான மின்னழுத்தம் தேவையான கிளர்ச்சியூட்டுவானால் (exciter) கொடுக்கப்படுகிறது. இந்தக் கிளர்ச்சியூட்டுவானில் மூன்று பெருக்கும் நிலைகள் (multiple stages) உள்ளன. ஒவ்வொரு பெருக்கித்துப் (multiplier) பிறகும் கூடுதலான பெருக்கி (amplifieres) களும், வடிகட்டிகளும் உள்ளன. இவை சைகைகளின் தூய தன்மையைப் பராமரிக்கத்

தேவைப்படுகின்றன. ஏற்கப்பட்ட சைகை இடைநிலை அதிர் வெண்கள் (intermediate frequencies) 10 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி, 1 மெகா சுற்று விநாடி, 100 கிலோ சுற்றுகள்/விநாடி ஆகிய வற்றுடன் தொடர்ச்சியாகக் கலக்கிப் பிரித்தல் (hetero dyen) முறையில் கலக்கப்படுகின்றன. ஆளுகை அலையியற்றியின் அதிர் வெண்ணைவிடக் குறைவான அதிர்வெண்ணுடன ஏற்கப்படும் சைகையைக் கலக்கிப் பிரித்தல் முறையில சேர்க்கமுடியாது. பெருக்கல் தொடர் (muluple chain) மூன்று உள்ளிட அலை யியற்றிச் செலுத்து அதிர்வெண்களைக் (90, 9, 0·9 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி) கொடுக்கிறது. இதில் தேவையான அளவு பெருக்குதலும, வடிகட்டுதலும உள்ளன. கிளர்ச்சியூட்டுவா னுடன 100 கிலோ சுற்றுகள்/விநாடி சைகையைச் செலுத்தி (gating) பரப்பித் துடிப்பு அனுப்புப பொழுது மட்டும் மின்னழுத் தத்தைப் பெறுமாறும ஏற்பி (cw) சைகைகளால் பாதிக்கப்படாமல் இருக்குமாறும் செய்யப்படுகிறது. இந்த ஏற்பியில் எதிரொளிப் பின் டாப்ளர் பெயர்ச்சி ஒரு நிலையான 90 கிலோ சுற்று விநாடி அலையியற்றியைச் சரிசெய்து ஈடு செய்யப்படுகிறது. படம் 27·2-ல் காட்டப்பட்ட அமைப்பில் ஆளுகை அலையியற்றியின் அதிர் வெண்ணில் ஒரு சுற்று/விநாடி அளவே இயைவிலிருந்து தள்ளு கிறது. இதுவே ஈடு செய்தல இல்லாதபொழுது 1000 சுற்றுகள்/ விநாடி ஆக இருக்கும். ஆயினும் ஒரு துடிப்பு அனுப்பப்பட்ட பிறகு ஏற்படும் எந்த மாறுதலையும ஈடுசெய்ய முடியாது. எனவே தான் குறுகிய கால நிலைத் தன்மைகள் தேவைப்படுகின்றன. இந்த வகையான ஈடுசெய்யும் முறைகள் (படம் 27·2-ல் காட்டப் பட்டவை) இதுவரை அமைக்கப்பட்டுள்ள எல்லாக் கோள் ராடார் நிலையங்களிலும் கையாளப்பட்டுள்ளன.

சில அமைப்புகளில் கிளர்ச்சிட்டூட்டுவான் தொடர் படம் 27·3-ல காட்டியவாறு அமைக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் ஏற்பியை உள்ளிட அலையியற்றத் தொடர் வழியாக அமைகின்ற 'cw' சைகைகளைத் தடுப்பது சிறிது கடினமாகும். இருந்தபோதிலும் நடைமுறையில முதல் கலக்கிக்கு முன்பாகத் தேவையான அளவு இலாபத்தை (60 dbs) வைத்து இந்தச் சிக்கலைத் தவிர்க்கலாம். படம 27·3-ல், காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பு, படம் 27·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பைவிட ஒரு விதத்தில் சிறந்ததாகும். அதாவது படம் 27·3-ல், 27·2-ல் உள்ளதைவிட அதிகமான கட்ட நிலைத் தன்மை (phase stability) கிடைக்கும்.

ராடார் அமைப்புகளில் டாப்ளர் அளவைக் குறைத்தலும், காலத்தை அளத்தலும் மிக முக்கியமானவையாகும், கிளர்ச்சியூட்டு

வானைப் பயன்படுத்திச் சரியான அதிர்வெண்ணையும் பரப்பியை இயக்கத் தோற்றுவிக்க வேண்டும்.

படம் 27·3.

கிளர்ச்சியூட்டும் அதிர்வெண் எதிர்கலக்கிப் பிரித்தல் முறையில் உண்டாக்கப்படும் அமைப்பைக் காட்டும் திட்டப் படம்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Threshold Signals —*By Lawson, J. L. and G. E. Vhlen Beck.*
2. Radar System Engineering —*By Ridenour L. N.*
3. Introduction to Radar Systems—*By Skolnik M. I.*

# 28. ராடார் வானியலுக்குரிய ஆன்டென்றுக்கள்

**(Antennas for Radar Astronomy)**

ராடார் வானியல் ஆன்டென்றுக்கள், ரேடியோ வானியல் ஆன்டென்றுக்கள் அல்லது தரை ராடார் ஆன்டென்றுக்களைப் பெருப்பாலும் ஒத்தவையாகும். இருந்தபோதிலும், ராடார் வானியல், ரேடியோ வானியல் ஆகியவைகளிலுள்ள சோதனை களின் தன்மைகளின் அடிப்படையில் சில குறிப்பிட்ட மாறுபாடு களும் உள்ளன. காட்டாக ரேடியோ வானியலில் பயன்படுத்தப் படுகின்ற ஆன்டென்றுக்கள் குறைந்த திறன் (low power) சாதனங்களாகும். உயர் திறன்களில் தொழில் படுவதற்கு இவை களைச் சிறிது மாற்றியமைக்க வேண்டும். மேலும் ரேடியோ வானியலில் கோணப் பகு திறன் மிகவும் முக்கியமாகும். ஆனல், ராடார் வானியலில் இது நிலா, சூரியன் ஆகியவைகளைப்பற்றி ஆராய்வதற்கு மட்டுமே முக்கியமாகும். ரேடியோ வானியல் ஆராய்ச்சியாளர்கள் பெரும்பாலும் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி களையும், குறுக்கு ஆன்டென்றுக்களையும் துளைப் பகுப்புத் தொழில் முறைகளையும் உபயோகப்படுத்துகின்றனர். ஏனெனில் 1,500 மெகா சுற்றுகள்/வினடி-க்கும் குறைவான அதிர்வெண்களில் சிறிது சேகரிக்கும் பரப்பைக் கொண்டும் தேவையான அளவு சைகையைப் பெறலாம். மாருக, ராடார் வானியல் பெரிய நிரப்பப் பட்ட துளைகளை (filled apertures) அதாவது ஆன்டென்றுக்களைப் பயன்படுத்துகிறது.

நிலாவும், கோள்களும் தனித்தனிப் பொருட்கள் ஆனபடி யாலும் அவைகளின் கோண இயக்கம் மெதுவாகவும், தெரிந்த தாகவும் உள்ளபடியாலும், தரை ராடார் அமைப்பில் உள்ள வேகமான ஆன்டென்று சுழற்சி போன்ற பண்புகள் கோள்களை ஆராயவும், அவற்றைப் பின்பற்றவும் தேவையில்லை. ராடார்

வானியல் ஆன்டென்னுக்களில் முக்கியமாக (*a*) உயர் திறனில் தொழில்படும் முறை (*b*) உயர்ந்த ஆன்டென்னு இலாபம் அல்லது சேகரிக்கும் பரப்பு (*c*) சிறும அளவு தேவையற்ற இரைச்சலை ஏற்றல் (*d*) சைகைகளைத் தொகுனியாக்கப்படுத்தும் தொழில் முறைகள் செயல்படத் துல்லியமான கோணச் செலுத்துகை ஆகியவை தேவைப்படுகின்றன.

பரவளைய அமைப்பையுடைய எதிரொளிப்பான்கள் அநேகமாக 100 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி ($\lambda = 3$ மீட்டர்கள்)-க்கும் அதிகமான அதிர்வெண்களில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதை விடக் குறைந்த அதிர்வெண்களில் இருமுனை அணிகள் (dipole array) பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

ரேடியோ, ராடார் வானியல் ஆராய்ச்சிகளில் மிகவும் திறமை வாய்ந்த சாதனம். இது ஒரு பெரிய அசைகின்ற பரவளைய வடிவ எதிரொளிப்பானாகும். இத்தகைய எதிரொளிப்பானின் விட்டம் $D$ ஆகவும், இது இயங்குகின்ற அலைநீளம் $\lambda$ ஆகவும் இருந்தால், அதனுடைய ஆன்டென்னு லாபம் $G$, அரைத் திறன் கற்றை அகலம் (half power beam width) $\Omega$ ஆகியவை கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் தரப்படுகின்றன.

$$G = \eta \left[\frac{\pi D}{\lambda}\right]^2 \approx 0{\cdot}55 \left[\frac{\pi D}{\lambda}\right]^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\Omega = \frac{\gamma\, 58{\cdot}5^\circ}{D/\lambda} \approx \frac{70^\circ}{D/\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இங்கு $\eta$ என்பது துளைத்திறன் எண் (aperture efficiency factor), $\gamma$ என்பது கற்றை அகல எண் (beam broadening factor) ஒரே சீராக ஆற்றல் இழப்புகள் இல்லாவிட்டால் $\gamma$, $\eta$ இரண்டும் ஒன்றுக்குச் (unity) சமமாகும். அப்பொழுது ஆன்டென்னு இலாபத்தின் பெருமம் கிடைக்கும். ஆனால் நடைமுறையில் ஆன்டென்னுவின் அமைப்புகளாலும், மற்றும் சில பரப்புகளாலும், இவற்றின் மதிப்பு ஒன்று (one) ஆவதில்லை. படம் 23·1-ல் விட்டங்களை அடி அலகில் கூறப்பட்ட பரவளையங்களின் ஆன்டென்னு இலாபமும், கற்றை அகலமும் மாசம் வீதங்களில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

படம் 28·1.

பயனுறு துளை அல்லது இடையிடம் (மீட்டர்)²
(Effective Aperture)

55% பயனுறு திறனைத் தற்கோளாகக் கொள்ளப்பட்ட பரவளைய ஆன்டென்னாவின் இலாபத்தையும், கற்றை அகலத்தையும் காட்டும் நேம வரையும் (nomogram).

ஆன்டென்னா இலாபம் $G$, ராடார் சமன்பாட்டில்

$$\left[ P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 S}{4\pi (4\pi R^2)^2} \right]$$

இருமடி எண்ணாக வருவதால் அது மிகவும் முக்கியமானதாகும். எனவே பயனுறு திறன் எண் $\eta$ ஐ இன்னும் விரிவாகப் பார்க்க.

வேண்டும். அப்படிப் பார்க்கும்பொழுது பரவளைய ஆன்டென்னுக் களை நிர்மாணிப்பதில் உள்ள முக்கியமான சிக்கல்களையும் பார்க்க வேண்டும். $\eta$ ஐ அதன் முக்கியக் கூறுகளின் அடிப்படையில் எழுதலாம்.

$$\eta = \eta_l \, \eta_s \cdot \eta_a \cdot \eta_b \cdot \eta_t \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3)$$

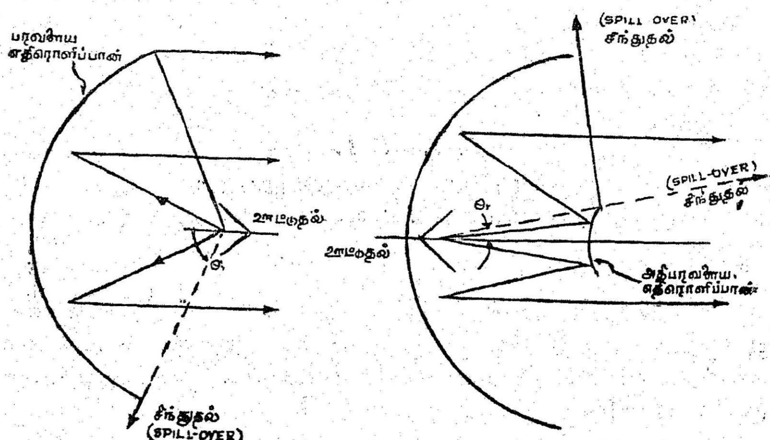
இங்கு $\eta_l$ - ஊட்டும் அமைப்பிலும், ஊட்டுக் கம்பியிலும் ஏற்படும் விரையம் (feed and line loss)

$\eta_s$ - ஊட்டும் அமைப்பால் கதிர் வீசப்பட்டு துளையால் தடுக்கப் பட்ட ஆற்றலின் ஒரு பகுதி. (spillover loss)

$\eta_a$ - எதிரொளிப்பானின் சீரற்ற ஆற்றல் ஊட்டலினுல் ஏற்படும் பயனுறு திறன் குறைவு. (aperture loss)

$\eta_b$ - ஊட்டும் அமைப்பு, அதனுடைய துணைக் கருவிகள் ஆகியவை துளையை மறைப்பதால் ஏற்படும் இழப்பு. (blockage loss)

$\eta_t$ - எதிரொளிப்புப் பரப்பியில் ஏற்படும் எந்திரக் குறைபாடு களினுல் ஏற்படும் இழப்பு (loss due to mechanical tolerence of the reflected surface) படம் 28·2-ல் ஒரு பரவளைய எதிரொளிப்பானின் அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 28·2.

பரவளைய எதிரொளிப்பான் ஆன்டென்ன

பரவளைய எதிரொளிப்பான் ஆன்டென்னு ஆற்றல் ஊட்டும் அமைப்பு, பரவளையத்தின் உச்சி (vertex)க்கருகே படம் 25·2 (b) வைக்கப்பட்டுள்ளது. பரவளையத்தின் உச்சிக்கும் குவியத்திற்கும் இடையில் ஓர் அதிபரவளைய (hyperboloidal) துணை எதிரொளிப்பான் வைக்கப்படுகிறது. இலக்கிலிருந்து இணை கதிர்கள் பரவளையத்தால் எதிரொளிக்கப்பட்டு அதன் குவியத்தை நோக்கிக் குவிகின்றன. அவை அதி பரவளையத்தால் மீண்டும் எதிரொளிக்கப் படுகின்றன. அதனுடைய முக்கியக் குவியங்கள் பரவளையத்தின் முக்கியக் குவியத்தோடும், ஊட்டு அமைப்பின் இருப்பிடத் தோடும், பொருந்துமாறு இந்த அதிபரவளையம் அமைக்கப் பட்டுள்ளது.

ஊட்டு அமைப்பில் ஏற்படும் இழப்பு ($\eta_b$) ஊட்டுக் கம்பி ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி ஆகியவற்றில் உள்ள மின்தடைகளி னுலும், பொருந்தாத (mismatch) இணைப்புகளினுலும் ஏற்படும் இழப்பாகும். பொதுவாக ஊட்டு அமைப்பு சிக்கலாகவும், ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி பெரியதாகவும் இருந்தால் இத்தகைய இழப்பு களும் அதிகமாகும். குவியத்தில் ஊட்டப்படும் மைக்ரோ அலை அமைப்புகளில் மொத்த இழப்பு 1 $db$-க்கும் மேலாக இருக்கும். அதாவது, $\eta_e = 0{\cdot}8\ db$ ஆகும். மாருக அமைப்பைக் கவன மாகச் செய்வதாலும், எளிய ஊட்டு அமைப்புகளைக் கொள்வ தாலும் சிறிய அலை வழிகாட்டி (wave guide) களைப் பயன்படுத்து வதாலும் இந்த இழப்பை $\frac{1}{10}$-க்குக் குறைக்கலாம். ஆன்டென்னு சுழலுவதற்கான இணைப்பு (joints) களில் ஏற்படும் விரயமும், ஆன் டென்னுவின் முக்கிய ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளில் ஏற்படும் விரயமும் இந்த ஊட்டு இழப்பிலிருந்து மாறுபட்டனவாகும்.

$\eta_s$ (சிந்தும் இழப்பு) என்பது எதிரொளிப்பானின் விளிம்பு களுக்கப்பால் ஆற்றல் சென்று விரயம் ஆகும்பொழுது ஏற்படும் இழப்பாகும். இலட்சிய எதிரொளிப்பான்களில் இந்த இழப்பு சுழி யாகும்.

$\eta_a$ என்பது துளை இழப்பாகும். மேலே கூறப்பட்ட இருவகை இழப்புகளையும் நீக்கிய பிறகு மீதமுள்ள ஆற்றல் கதிர் வீசும் பரப்பின்மேல் ஒரே சீராகப் பங்கீடு செய்யப்பட்டால் ஆன்டென் னுவின் இலாபம்

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A\,\eta_l\,\eta_s = \left[\frac{\pi D}{\lambda}\right]^2 \eta_l\,\eta_s \quad \ldots \quad (4)$$

இங்கு $A$ என்பது கதிர் வீசும் துளையின் பரப்பாகும். ஆயினும் ஊட்டு அமைப்பின் திசை விளைவினாலும், எதிரொளிப்பான்களின் வளைவினால் உண்டாகும் ஆற்றல் கோணப் பங்கீடுகளினாலும், துளையின் விளைவு ஆற்றலூட்டம் பாதிக்கப்படுகின்றது. இது மேலும் $\eta_a$ என்ற ஓர் உறுப்பினால் குறைக்கப்படுகிறது இதன் மதிப்பு மிக மிகக் குறைவாகும்.

$\eta_b$ என்பது முக்கிய எதிரொளிப்பானிலிருந்து வருகின்ற ஆற்றலின் ஒரு பகுதியைத் துணை எதிரொளிப்பானும் அதனுடைய அமைப்புகளும் தடுப்பதால் உண்டாவதாகும். துணை எதிரொளிப்பானின் விளைவு துளையின் மையத்தில் ஒரு வட்டமான இருண்ட தட்டை ஏற்படுத்துவதால் எளிதில் அறியப்படுகிறது. ஆற்றலூட்டம் ஒரே சீராக இருந்தால் மின்னழுத்தத்தில் ஏற்படும் குறைவு பரப்புகளின் வீதத்தின் அடிப்படையில் இருக்கும். ஆயினும் ஆற்றலூட்டத்தைக் கூர்மைப்படுத்தினால் மையப் பரப்பின் முக்கியத்துவம் அதிகரிக்கும். 10 db கூர்மைக்கு மையத்தில் 50% அதிகமாகும் ஆற்றல் குறைவுக்கு

$$\eta_b = 1 - 3{\cdot}0 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad \ldots \quad (5)$$

என்று எழுதலாம். இங்கு $\frac{d}{D}$ என்பது துணை எதிரொளிப்பானின் விட்டத்திற்கும் முதன்மை எதிரொளிப்பானின் விட்டத்திற்கும் உள்ள தகவாகும்.

$\eta_t$ இழப்பு ஒரு ராடார் ஆன்டென்னாவின் அதிர்வெண் பெருமத்திற்கு ஓர் உச்ச வரம்பை நிர்ணயிக்கிறது.

$$\eta_t = \frac{G}{G_0} = exp\left[-\left(\frac{4\pi}{\lambda}\epsilon\right)^2\right] \quad \ldots \quad (6)$$

இங்கு, $G$ என்பது உண்மையில் பெறப்பட்ட இலாபம். $G_0$ என்பது இலட்சியப் பரவளையத்தின் இலாபமாகும். $\epsilon$ என்பது பரப்பை அலை நீளத்தின் அடிப்படையில் அளக்கும்பொழுது ஏற்படும் சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலப் பிழையாகும்.

**ராடோம்ஸ் (Radomes)**

ஆன்டென்னாவின் அமைப்பு, எதிரொளிப்பானின் சகிப்புத் தன்மை (reflecter tolerence) அமைப்பின் நிலைத் தன்மை ஆகிய

வற்றில் உள்ள சிக்கல்கள் ஆன்டென்னுவை ஒரு கட்டுப்படுத்தப் பட்ட சூழ்நிலையில் இயக்கும் பொழுது மிகவும் குறைகின்றன. இப்படி ஆன்டென்னுவை வைப்பதற்கான அமைப்பு 'ராடோம்' எனப்படும். மிகவும் நம்பத்தக்கதான ராணுவ ராடார்களிலும் உயர் அட்ச ரேகைகளில் இயங்கும் செய்தியனுப்பும் அமைப்பு களிலும் ஆன்டென்னுக்களை ராடோம்களில் அமைப்பது முக்கிய மாகும். தற்காலத்தில் ராடோம்களில் மூன்று அடிப்படைப் பிரிவுகள் உள்ளன.

(1) ஒரு சதுர அங்குலத்திற்குப் பல பவுண்டுகள் அழுத் தத்தில் உள்ள நெகிழக்கூடிய பருப்பொருளாலான காற்றடைக்கப் பட்ட 'பை' (π) ராடோம்கள்,

(2) குறைந்த மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலியையுடைய நுரைப் பருப்பொருளாலான தொகுதிகளால் செய்யப்பட்ட கடின மான எஸ்கிமோக்கள் பனிக் காலக் கூடார அமைப்பை ஒத்த ராடோம்கள்,

(3) மெல்லிய மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலிச் சட்டங்கள் வைக்கப்பட்ட, கடினமான, தானே தாங்கி நிற்கும் உலோகச் சட்டங்களைக் கொண்ட ராடோம்கள் ஆகும்.

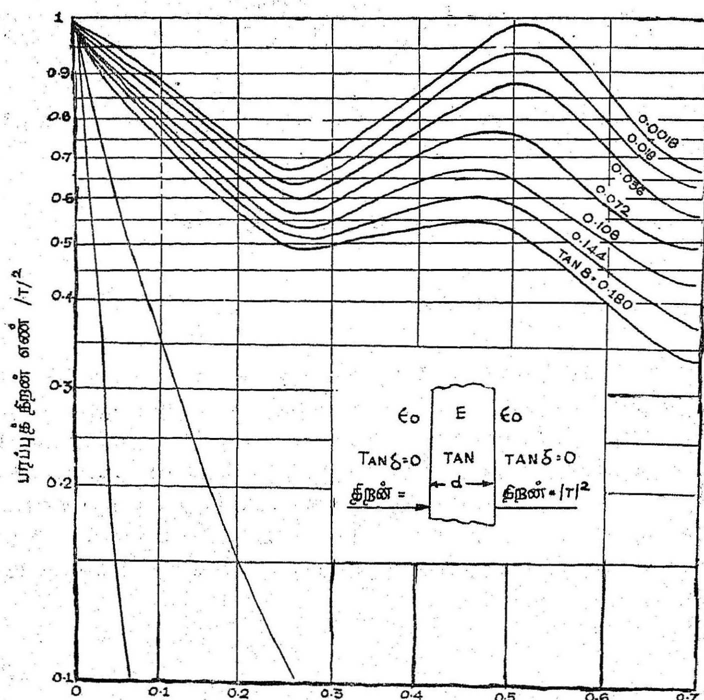
முதல் இரண்டு வகைகளில் ஒரு படித்தான குறைந்த மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலியான மெல்லிய சுவர் இருக்கின்றது. ஆயினும் காற்றடைக்கப்பட்ட பையிலும் முறை இணைப்பு களிலும் உள்ள இணைப்புகள் ராடோமின் சீரான தன்மையைப் பாதிக்கின்றன.

ஒரே சீரான, ஆற்றல் விரயமற்ற, மின் கடத்தாப் பொருள் சுவர் வழியாகச் செலுத்தப்படும் திறன், செங்குத்துப் படுகையில்

$$|T|^2 = \frac{4\epsilon}{4\epsilon + (\epsilon - 1)^2 \sin^2 \frac{2\pi t}{\lambda}} \quad \ldots \quad (7)$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

இங்கு $\epsilon$ என்பது மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி.




படம் 28·3

பரப்பின் தடிமன் பரப்பில் அலை நீளம். $\frac{d}{\lambda}\sqrt{\frac{E}{\epsilon_0}}$

ஒரு மின் கடத்தாப் பரப்பினூடே திறன் ஊடுருவும்பொழுது பரப்புத் திறன் எண்ணிற்கும், பரப்பின் தடிமனுக்கும், பரப்பில் அலை நீளத்திற்கும் உள்ள தகவிற்கும் உள்ள சார்பலை வளைகோடுகள் காட்டுகின்றன.

சமன்பாடு (7)-ல்,

$t$ - தடிமன்

$\lambda$ - ஊடகத்தில் அலை நீளம் $\frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}} =$

மெல்லிய சுவர்களுக்கு,

$t < \frac{\lambda}{8}$, எனவே சமன்பாடு (7) ஐக் கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$|T|^2 = 1 - \frac{(\epsilon - 1)^2}{4\epsilon} \left(\frac{2\pi t}{\lambda_0}\right)^2 \quad \dots \quad \dots \quad (8)$$

மின்னியல் தடிமன் $\lambda/4$ ஆக இருக்கும்பொழுது உள்ள அலை நீளத்தில் சிறுமப் பரவல் நடைபெறுகிறது.

எனவே மின்னியல் தடிமன் $\lambda/2$ ஆக இருந்தால்,

$$|T|^2_{\text{சிறுமம்}} = \frac{4\epsilon}{(\epsilon + 1)^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

ராடோம் ஆற்றல் புகக் கூடியதாக அமைகிறது. படம் 28·3-ல் செங்குத்துப் படுகையில் மின் கடத்தாப் பொருள் இழப்பினுல் பரப்பலில் ஏற்படும் குறைவு காட்டப்பட்டுள்ளது. ராடோமினுல் ஏற்படும் இலாபம் அல்லது இழப்புடன் ஆன்டென்ணு அமைப்பின் வெப்பநிலை $T_s$-ல் ஓர் அதிகரிப்பு காணப்படுகிறது. இது ராடோமினுல் ஆற்றல் எதிரொளிக்கப்படுவதால் உண்டாகும். இந்த எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றல் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

$$|T_s|^2 = 1 - |T|^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

மேலே சொல்லப்பட்ட உலோகச் சட்டி அமைப்பிற்கு எதிரொளிக்கப்படும் ஆற்றல், உள்ளிட அளவில் ஏறத்தாழ 10% ஆகும். இந்த ஆற்றல் முழுவதும் ஏற்பியை அடைந்தால், $T_s$-க்கு ஏறத்தாழ 30 டிகிரியைக் கொடுக்கும். ஆனுல் இதில் பெரும் பகுதி குளிர்ந்த ஆகாயத்தை நோக்கிச் சிதறடிக்கப்படுகிறது; அல்லது எதிரொளிப்பானை நோக்கித் திருப்பவும் சிதறடிக்கப்படுகிறது. எனவே $T_s$ வெப்பநிலைக்குப் பெரிய பரவளைய ஆன்டென்ணு ஒரு ராடோமில் வைக்கப்படும் பொழுது $5 - 10^\circ K$ வரைக் கிடைக்கின்றது.

அடுத்த பக்கத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அட்டவணை 28·1-ல் முக்கியமான பரவளைய ஆன்டென்ணுக்களின் சாரா மாறிகள் தரப்பட்டுள்ளன.

ரேடியோ அல்லது ராடார் வானியலில் பயன்படும் சில எதிரொளிப்பு ஆன்டென்ணுக்களும், அவைகளின் குணங்களும் அட்டவணை 28·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 28·1

| ஆன்டென்ளு | விட்டம் (D) | Vm S-பரப்பு சகிப்புத் தன்மை (∈) | உற்பத்தியின் துல்லியம் (D/∈) | குறிப்பு |
|---|---|---|---|---|
| 28 அடி ஸ்பன் காஸ்ட் (லிங்கன் ஆய்வுக் கூடம்) | 28 அடி (8·53 மீட்டர்) | 0·008 அங்குலம் | 42,000 | — |
| USSR | 72 அடி (22 மீட்டர்) | 0·025 அங்குலம் | 34,600 | முழுவதும் இயக்கக் கூடியது. |
| மிச்சிகன் | 85 அடி (25·9 மீட்டர்) | 0·043 அங்குலம் | 23,600 | முழுவதும் இயங்கக் கூடியது. |
| ஹேஸ்டேக் | 120 அடி (36·6 மீட்டர்) | 0·030 அங்குலம் | 48,000 | முழுவதும் இயங்கக் கூடியது. ராடோமில் வைக்கப் பட்டது. |
| பார்க்கிஸ் (ஆஸ்திரேலியா) | 210 அடி (64·0 மீட்டர்) | 0·14 அங்குலம் | 18,500 | முழுவதும் இயங்கக் கூடியது. |
| ஜோட்ரல்பாங்க் | 250 அடி (76·2 மீட்டர்) | 0·400 அங்குலம் | 7,500 | முழுவதும் இயங்கக் கூடியது. |
| கிரீன்பாங்க் | 300 அடி (91·4 மீட்டர்) | 0·470 அங்குலம் | 7,600 | நிலையற்ற கருவி (Transit instruments) |
| ஆர்சிபோ (கார்னெல் பல்கலைக் கழகம்) | 1000 அடி (305 மீட்டர்) | 1·20 அங்குலம் | 10,000 | உச்சி நோக்கும் கோள எதிரொளிப்பான. |

**குறை அதிர்வெண் ஆன்டென்ளுக்கள் (low frequency antennas)**

முதன்முதலில் ராடார் எதிரொளிப்புகள் நிலாவிலிருந்து 100 மெகா சுற்றுகள்/விளுடி அதிர்வெண்ணில் பெறப்பட்டன. ஆன்டென்ளுவின் இலாபம் 23db ஆகவும், அது 64 இருமுனை அணிகளைக் கொண்டதாகவும் இருந்தது. ஆன்டென்ளு செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்டிருந்தது. எனவே கற்றை கிடைமட்டமாக அனுப்பப்பட்டது. முதன்முதலாக, சந்திர எதிரொளிப்பு 1946, ஜனவரியில் பெறப்பட்டது. ஒரு குறிப்பிட்ட நோக்கத்தோடு செய்யப்படும் ஆராய்ச்சிகளில் பெரிய ஆன்டென்ளு அணிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவை திறமை மிக்க அமைப்புகள் அல்ல. ஏனெனில் அவை ஒரே அதிர்வெண்ணிலேயே இயங்குகின்றன. ராடார் வானியலில் உள்ள அணிகளில் மிக அதிகமான

பகுதிகளுக்குச் சுமாரான திறனுடன் ஒரே சமயத்தில் ஆற்றல் ஊட்ட வேண்டும். ஒவ்வொரு பகுதிக்கும் செலவு குறைவானலும் அதிகமான பகுதிகள் இருப்பதால் செலவும் அதிகமாகும். பெரு (Peru) நாட்டிலுள்ள 50 மெகா சுற்றுகளில் இயங்கும் அணியில் 18,000-க்கு மேற்பட்ட இருமுனை ஆணிகள் உள்ளன. இது ஒரு திசைப் பண்பியலானக் (unidirectional) கதிர்வீசுவானில் 42·6 *db* இலாபத்தைக் கொடுக்கிறது. இதைவிடத் தாமே இயங்கக்கூடிய அணிகள் வேறு செய்யப்படவில்லை. எல்கேப்போ விலுள்ள 38 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி-ல் இயங்கும் அணி 2048 பகுதிகளை உடையதாக இருக்கிறது. இது சூரிய ஒளி வட்டத்தை ஆராயக் கட்டப்பட்டது. ஒரு பல் அதிர்வெண் ராடார் வானியல் அணி ஸ்டேன்ஃபோர்டில் கட்டப்பட்டது. ஒவ்வொரு வரிசையிலும் 24 ஆன்டென்னுக்களையுடைய இரு வரிசைகளைப் பெற்றுள்ளது. இதை 20-லிருந்து 55 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி வரை எந்த அதிர்வெண்ணிலும் இயக்கலாம். இது முக்கியமாகச் சூரிய எதிரொளிப்புகளைப் பெறுவதற்காகக் கட்டப்பட்டது.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Microwave Engineering —*By Harvey A. F.*
   (Academic Press, New York).
2. Antennas Theory and Practice
   —*By Schlkunoff, S. A. and Frits H. T.*
   (John Wiley and Sons, Inc.; New York).
3. Microwave Antenna Theory and Design —*By Silver S.*
   (McGraw - Hill Book Co.; New York).
4. Radar Scanners and Radomes
   *By Cady W. M.; Karelitz M. B. and Turner L. A.*
   (McGraw - Hill Book Co.; New York).
5. Introduction to Radar Systems —*By Skolnik, M. I.*
   (McGraw - Hill Book Co.; New York).

# 29. ராடார் வானியல் பரப்பிகள்

## (Transmitters)

ராடார் வானியலில் பயன்படும் பரப்பிகளின் அமைப்பு வழக்கமான ராடார் அணிகளின் அமைப்பை விடச் சில வகைகளில் மாறுபட்டது. முக்கியமாக ராடார் வானியல் சோதனைகளில் காட்சிப் பதிவுகளை எடுக்கின்ற நீண்ட நேரங்களினாலும், பெருமத் திறனை விடச் சராசரித் திறனே முக்கியமானதாலும், இத்தகைய மாறுபாடுகள் விளைகின்றன. வழக்கமான ராடார் அமைப்புகளில் பெரும்பாலும் 20 கி.மீ. அல்லது அதற்குட்பட்ட தொலைவில் வரும் இலக்கையே ஆராய்கிறோம். அவற்றில் தொலைவுப் பகுப்பு (range resolution) நன்றாக இருக்க வேண்டும். மேலும் அவற்றின் துடிப்பு நீளம் 5 மைக்ரோ விநாடி அல்லது அதற்குக் குறைந்து இருத்தல் வேண்டும். இவற்றில் ஏற்பி, பரப்பியின் அதிர்வெண்ணுக்கு இயைவிக்கப்பட்டிருப்பதை உறுதி செய்வதற்கு அதிர்வெண் நிலைத்தன்மை வேண்டும், பரப்பியினுடைய அல்லது ஏற்பியினுடைய துல்லியமான அதிர்வெண் கட்டுப்பாடு தேவையில்லை. பல வழக்கமான விமான (airborne) அல்லது கப்பல் (ship borne) ராடார்கள் துடிப்பு மாக்னெட்ரான் பரப்பிகளையும், படிகக் கலக்கி ஏற்பிகளையும், கிளைஸ்ட்ரான் உள்ளிட அலையியற்றிகளுடன் பயன்படுத்துகின்றன. இவற்றுள், உயர்திறன் கொண்ட அமைப்புகளை அமைக்க முடியாது; ஏனெனில் மாக்னெட்ரான்களில் இருந்து வருகின்ற துடிப்பு நீளங்கள் இதற்குப் போதா. மேலும் முழு அதிர்வெண் கட்டுப்பாடு உணர்வு நுட்பத்தை வெகுவாகக் குறைக்கும்.

அண்மைக் காலத்தில் அதிகத் திறனைக் கொண்ட நீண்ட தொலைவு ராடார் அமைப்புகள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள், எறி ஆயுதங்களை முன்னறிவிக்கும் அமைப்பு (ballistic missile early warning system) சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். இது BMEWS என்று குறிக்கப்படுகிறது. இவ்வமைப்புகளில் நிலைத்த

தன்மைக்கும் உணர்வு நுட்பத்திற்கும் வேண்டிய அடிப்படைத் தேவைகள் ராடார் வானியலின் அடிப்படைத் தேவைகளை ஒத்துள்ளன. இந்த இராணுவ ராடார் அமைப்புகள் குறைந்த அதிர்வெண்களில் (UHF) இயங்குவதற்காக அமைக்கப்பட்டன. ஏனெனில், பெரிய துளைகளையுடைய (aperture) ஆன்டென்னுக் களையும் அதிகமான சராசரித் திறனுடைய பரப்பிகளையும் UHF-ல் சிக்கனமாகப் பெறலாம். இவ்வமைப்புகள் வழக்கமான ராடாரி லிருந்து வேறு ஒரு முறையிலும் மாறுபட்டிருந்தன. அதாவது, அவை அமைப்பின் உணர்வு நுட்பத்தை அதிகரிக்கவும், ஒரு துடிப்பு இடைவெளியில் இலக்கின் டாப்ளர் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடவும் நீண்ட காலத் துடிப்புகளைப் பரப்பின. இந்த இராணுவ ராடார்களில் ராடார் வானியலைப் போல் அதே அளவு அதிர்வெண் கட்டுப்பாடும் நிலைத் தன்மையும் தேவைப்படா விடினும், அவை ஓரியல் பரப்பிப் பெருக்கிகளையே பயன்படுத்தின. இவ்வுயர்திறன் முன்னறிவிப்பு ராடார்களில் ஏற்பட்ட முன்னேற் றங்கள் பல துடிப்பு ராடார் அமைப்புகளில் சிறந்த முன்னேற்றங் களை அண்மையில் தோற்றுவித்தன. இதற்கு, ஜோட்ரல் பாங்க் துடிப்பு ராடார் விதிவிலக்காகும். ஏனெனில், இது அதற்குமுன் செய்யப்பட்ட நிலா ராடார் அமைப்பின் அடிப்படையில் செய்யப் பட்டது.

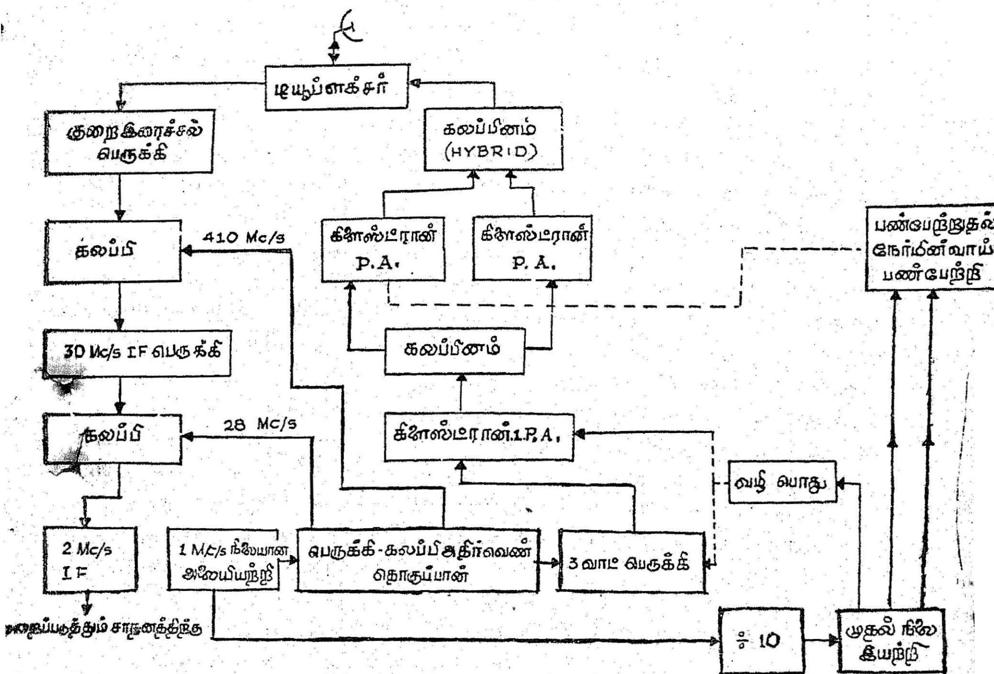
அண்டவெளியை ஆழமாக ஆராயச் செய்யப்பட்ட முயற்சி கள் பூமியிலுள்ள ராடார்கள் கோள்களுக்கு இடையில் உள்ள தூரங்களைக் கூடத் துருவும் அளவுக்கு முன்னேற்றங்களைக் கொண்டு வந்தன. இவை, பண்பேற்றப்பட்ட '*cw*' பரப்பிகளைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட அணிகளினுல் சாத்தியமாயிற்று. இத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் மூன்று ராடார் வானியல் அமைப் புக்கள் உருவாக்கப்பட்டுள்ளன அவையாவன : *NASA* கோல்டு ஸ்டோன் துருவும் நிலையம், *USSR*-ல் உள்ள கிரிமியன் துருவும் நிலையம், ஜோட்ரால் பாங்கில் உள்ள '*cw*' ராடார். இவ்வாறு ராடார் வானியல் அணிகள் இரு விதங்களில் (துடிப்பு, *cw*) முன்னேறியுள்ளன. இப் பகுதியில் சில அதிகத் திறனுள்ள பரப்பி களைப் பற்றிக் காண்போம்.

முன்பு ஒரு பகுதியில் கூறப்பட்ட ராடார் சமன்பாடு, துடிப்பு ராடார், தொடர் அலை (*cw*) ராடார் ஆகிய இரண்டிற்குமே பொருந்தும். நடைமுறைப் பரப்பிகளில் உச்சத் திறன், சராசரித் திறன் இரண்டுமே கட்டுப்படுத்தப்படுவதால் பரப்பியின் அமைப் பானது குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்களில் *RF* பெருக்கி மின் குழாய் களால் கட்டுப்படுத்தப்படும். சில பரப்பிகளில் உச்சத் திறன்

(குறைந்த துடிப்பு நேரங்களில்) சராசரித் திறனைவிட அதிகரிக்க முடியாது. ஆயினும் சில உயர் திறன் துடிப்புப் பரப்பிகள் அமைப்பில் உச்சத் திறன் சராசரித் திறனைவிட 100 மடங்குக்கு அதிகமாக இருக்கும். இம் மாதிரி நேரங்களில் சில நீண்ட துடிப்புகளை அனுப்புவது சிறந்ததா அல்லது ஒரே அளவு சராசரித் திறனையுடைய அநேக குறுகிய உச்சத் திறனையுடைய துடிப்புக்களை அனுப்புவது சிறந்ததா என்ற வினா எழுகின்றது. இதற்கு விடையளிப்பது எளிதன்று. விடை, ஆராயப்படும் இலக்கின் தன்மையைப் பொறுத்தது. கோள் மெதுவாகச் சுழலும் போதும் சோதனை செய்யும் இடைவேளையில் எதிரொளிப்புகளிடையே கட்ட ஓரியலும் இருந்தால் இச் சிக்கல் மறைந்து விடுகின்றது. அதாவது, கோளின் ராடார் ஆழத்துடன் ஒப்பிடப்படும் பொழுது துடிப்பு நீளம் நீண்டதாக இருந்தால் கோளை அறிவது, சில நீண்ட துடிப்புகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றனவா அல்லது அதிகமான குறுகியத் துடிப்புக்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றனவா என்பதைப் பொறுத்தமையாது. வழக்கமான ராடார்களிலுள்ள துடிப்பு நீளங்களுடன் ஒப்பிடும்போது மிக அதிகமான ராடார் ஆழங்களையே (= 20 மில்லி விநாடி) எல்லாக் கோள்களும் பெற்றிருப்பதால் ஒரு நீண்ட துடிப்பு, அதிக சராசரித் திறன் பரப்பியே சிறந்ததென ஆகிறது. அதாவது, ஒவ்வொரு தனித்தனி துடிப்பிலும் எவ்வளவு ஆற்றல் தேக்கி வைக்க முடியுமோ அவ்வளவும் இருக்க வேண்டும். சுருங்கக் கூறின், அதிக உச்சத் திறன் பரப்பிகள், செவ்வாய் போன்ற வேகமாகச் சுழலும் கோள்களை ஆராயும் பொழுது சிறந்த பயன்களைத் தரும். ஆனால், புதன், வெள்ளி போன்ற கோள்களை ஆராயும் பொழுது அவ்வளவு பயன் தராது. ராடார் வானியலில் உள்ள பரப்பிகள் ஓரியல் விளைவுகளைப் பெற்றிருத்தல் வேண்டும். ஏனெனில், எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும் சைகைகளில் கட்ட ஓரியல், இலக்கின் எதிரொளிப்புத் தன்மைகளால் தீர்மானிக்கப்பட வேண்டுமேயன்றி பரப்பியினால் தீர்மானிக்கப்படக் கூடாது. சோதனை இடைவெளி ஒரு விநாடி நேரமாக இருக்க வேண்டுமெனில் ஓர் இலட்சிபப் பரப்பி - ஏற்பி அமைப்பின் கட்டநிலைத் தன்மை முன் கூட்டியே தீர்மானிக்கப் படக் கூடியதாக இருக்க வேண்டும், அல்லது அது ஒரு சுற்று / விநாடி -க்கும் குறைந்த நிரமாலை அகலத்தைக் கொடுக்க வேண்டும். இத் தேவைகளின் அடிப்படையில் பரப்பி அமைப்பது கடினமாகும்.

பல்வேறு சோதனைகளில் பல்வேறு நீளமுள்ள துடிப்புகளையும் பல்வேறு துடிப்புத் திருப்ப நேரங்களையும் பயன்படுத்த வேண்டியிருப்பதால் எளிதாகப் பண்பேற்றப்படக்கூடியதும் பல முறைகளில் இயக்கக் கூடியதுமான ஒரு பரப்பி அமைப்பை உபயோகப்

படுத்துவது சிறந்ததாகும். காட்டாக, மில்ஸ்டோன் ஆராய்ச்சிக் கூடத்தில் வெள்ளியை ஆராய்வதற்குச் செய்யப்பட்ட ராடார் சோதனைகளில் பல்வேறு துடிப்புத் திருப்ப நேரங்களில் 500 முதல் 4000 மைக்ரோ வினாடிகள் வரை நேரமுள்ள துடிப்புகள் பயன் படுத்தப்பட்டன. கோட்டல் நிக்கோவ் என்பவர் வெள்ளியை ஆராய்வதற்கு நடத்திய சோதனையில் நீண்ட நேர cw சைகைகளைப் பயன்படுத்தினர்.




படம் 29·1.

மில்ஸ்டோன் ராடார் நிலையத்தின் வெள்ளி ஆராய்ச்சிக்காக உள்ள 440 மெகா சுற்று/விநாடி -ல் இயங்கும் அமைப்பு.

ஒரு நிலையான குறை அதிர்வெண் ஆளுகை அலையியற்றியை (master oscillator) மேற்கோள் சைகை மூலமாகப் பயன்படுத்தி ஓர் ஓரியல் பரப்பி—ஏற்பி அமைப்பைப் பெறலாம். பரப்பி கிளர்ச்சியூட்டுவான் சுற்றுக்கும், ஏற்பி உள்ளிடு அலையியற்றிச் சுற்றுக்கும் அநேக கட்ட மாறுதலற்ற உயர் அதிர்வெண் சைகை மூலங்களைப் பெறுவதற்கு இந்த நிலையான குறைமட்டச் சைகையுடன் பல்வேறு

அதிர்வெண் பெருக்கிகளும், கலப்பிகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மில்ஸ்டோன் ராடாரில் பயன்படுத்தப்படும் பெருக்கிக் கிளர்ச்சியூட்டுவான் அமைப்புத் திட்ட வரைபடம், படம் 29·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இதில் கிளர்ச்சியூட்டுவான் அமைப்பின் இறுதிப் பகுதி மூன்று வாட்டுப் பெருக்கியாகும். பரப்பிப் பிரிவில் ஒரு கிளைஸ்ட்ரான் இடைநிலைத் திறன் பெருக்கி உள்ளது. இது இரண்டு கிளைஸ்ட்ரான்களை இறுதித் திறன் பெருக்கியில் இயங்க வைக்கிறது. கிளைஸ்ட்ரான்களைப் பயன்படுத்துவதில் இலாபம் மிக அதிகமாக ($=30db$) உள்ளது. திறன் மட்டம் மூன்று வாட்டுகளிலிருந்து 2·5 மெகா வாட்டுகள் வரை இரு நிலைகளில் செல்லலாம். இனி, நடைமுறையில் உள்ள பல்வேறு பெருக்கிகளின் குணங்களை ஒப்பு நோக்குவோம்.

## RF பெருக்கி மின் குழாய்கள் (RF amplifier tubes)

பல்வேறு பரப்பி மின் குழாய்களின் பண்புகள் அட்டவணை 29·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 29·1

பரப்பி மின் குழாயின் பொதுப் பண்புகள்

| மின்குழாய் | அதிர்வெண் பகுதி | பெரும சராசரித் திறன் | இலாபம் | பயனுறு திறன் |
|---|---|---|---|---|
| டிரையோடு | 1 கிலோ 4 மகா சுற்று/விநாடி வரை | 300 கிலோ வாட்டுகள் | 10 — 17 db | 45—60% |
| கிளைஸ்ட்ரான் | 0·4—70 KMc/s | 300 கிலோ வாட் | 30 — 50 db | 32—45% |
| இயங்கு அலைக் குழாய் | 1—35 KMc/s | 10 கிலோ வாட் | 30 — 50 db | 30—45% |
| ஆம்பிலிட்ரான் | 0·4— 9 KMc/s | 300 கிலோ வாட் | 10 — 13 db | 60—80% |

குறிப்பு: மூன்றும் பத்தியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள பெரும சராசரித் திறன் அதிர்வெண்ணின் உச்ச முனையில் பெறப்படமாட்டாது.

அட்டவணையிலிருந்து கிளைஸ்ட்ரான் திறன் பெருக்கிக் குழாய்களும், இயங்கு அலைத்திறன் பெருக்கிக் குழாய்களும் ஒரு நிலைக்கு (per stage) 30—50db வரை இலாபத்தை உண்டாக்கக் கூடுமென்றும், ட்ரையோடு பெருக்கிக் குழாய்களும் ஆம்பிலிட்ரான் பெருக்கிக் குழாய்களும் 10—15db வரை இலாபத்தைக் கொடுக்கும் எனவும் புலப்படுகின்றது.

400 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-க்குக் குறைவான அதிர்வெண்களில் உயர்திறன் RF பெருக்கிகளில் இடைவாய் (grid) கட்டுப்படுத்தும் ட்ரையோடுகளும், டெட்ரோடுகளும் மட்டுமே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இம் முறையில் ஒரு தனிப் பெருக்க நிலையிலிருந்து 300 கிலோ வாட் சராசரி வெளிவரு திறன் வரையில் பெறப்பட்டுள்ளது. 300 — 600 மெகா சுற்றுகள் / வினாடி அதிர்வெண்ணில் 300 கி. வா. வரையில் சராசரித் திறன் மட்டத்தில் இடைவாய் கட்டுப்படுத்தும் குழாய்கள், (grid controlled tubes) கிளைஸ்ட்ரான்கள் ஆகிய இரண்டும் உபயோகப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. ஆம்பிலிட்ரான் 400 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி -க்கும் 3000 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-க்கும் இடைப்பட்ட அதிர்வெண்ணில் ஓரளவு குறைந்த திறனில் ராடார் அமைப்புகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. நீண்ட பட்டை அகலங்களில் தேவைப்படும்பொழுது இயங்கு அலை குழாய்கள் உபயோகமாகின்றன. அவை 1000 மெகா சுற்றுகள்/ வினாடி-க்கும் அதிகமான அதிர்வெண்ணில் சுமாரான திறனை ஏற்படுத்தப் பயன்படுகின்றன.

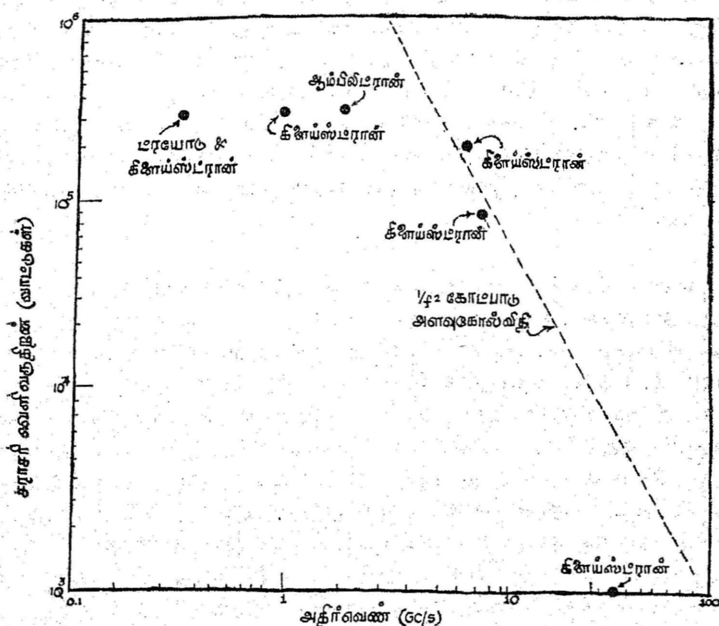
400 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-க்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்களில் நீண்ட துடிப்பையும், *cw* திறனையும் ஏற்படுத்துவதற்கு கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய் பயன்படுகிறது. இக் குழாய் அதன் அதிக இலாபத்தினாலும் சராசரிப் பயனுறு திறனாலும் (30% — 45%) அதிக அளவு *d. c.* மின்னழுத்தங்களைப் பயன்படுத்துவதாலும் சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. உயர் திறன் கிளைஸ்ட்ரான் மின்குழாய்கள் *uHF*-ல் இயங்குவதற்கு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. எதிர் மின்வாய் அமைப்பு, குழாயின் *RF* பகுதிகளுக்கு வெளியே உள்ளது. எனவே இதைப் பெரிதாகச் செய்து, *RF* புலன்களால் பாதிக்கப்படாமல் அமைக்கலாம். கிளைஸ்ட்ரான் பெருக்கியின் இலாபம், அதிலுள்ள குழிகளின் எண்ணிக்கையினாலும் அவற்றின் இடைவெளியினாலும், குழிகள் இழப்பினாலும் (cavity losses) அவற்றை இயைவிப்பதினாலும் தீர்மானிக்கப்படுகின்றது. ராடார் அமைப்புகளில் பயன்படும் பெரும்பாலான கிளைஸ்ட்ரான்கள் மூன்று அல்லது நான்கு ஒத்தியைவுக் குழிகளுடன் (resonant

cavities) 30-50 *db* கள் இலாபத்துடன் இயங்குமாறு அமைக்கப்படுகின்றன. இவ்வகைக் குழாய்களை எதிர் மின்வாய்க்கு நேரடியாகத் துடிப்பைக் கொடுத்தோ அல்லது எதிர் மின்வாய் அமைப்பிற்கும் முதல் *RF* குழிக்கும் இடையில் ஒரு தனியான பண்பேற்றும் இடைவாயை (grid) வைத்தோ பண்பேற்றம் செய்விக்கலாம். கிளாஸ்ட்ரானின் புறவாயில் *RF* அலை வடிவம், குறைமட்ட செலுத்து சைகையையும். எலெக்ட்ரான் கற்றை பண்பேற்ற அலை வடிவத்தையும் சார்ந்திருக்கும். கட்டப் பண்பேற்றம் அல்லது அதிர்வெண் பண்பேற்றம் ஆகிய இரண்டில் ஒன்றைக் குறைமட்டச் சைகைக்குக் கொடுக்கலாம்.

கிளாஸ்ட்ரான் மின்குழாயை அதற்குச் சமமான மாக்னெட்ரான் அல்லது ட்ரையோடு மின்குழாயைவிட உருவில் பெரிதாக அமைக்கலாம். ஏனெனில் கற்றை உற்பத்தி, கற்றை உள்வினைவு (inter action), கற்றைச் சேகரிப்பு ஆகியவை ஒரு கிளாஸ்ட்ரான் மின்குழாயில் தனித்தனிப் பகுதியில் செய்யப்படுகின்றன. இதனால் குழாயின் பகுதிகளில் உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் எளிதாக வெளியேற்றப்படுகிறது. தற்சமயம் கிளாஸ்ட்ரான் மின்குழாய் உயர் அதிர்வெண்களில் அதிக இலாபத்தையும், அதிக உச்சத் தன்மையையும், அதிக சராசரித் தன்மையையும் தருவதற்கு வாய்ப்புள்ளது. கோட்பாடுகளின் மூலம் இத்தகைய குழாய்களின் மூலம் கிடைக்கும் வெளிவரு மின்னழுத்தம், அவை இயங்குகின்ற அதிர்வெண்களின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்க வேண்டும் என்று தெரிகிறது. இன்றுவரை 800 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி அதிர்வெண்ணில் 200 கி. வா. *cw* திறனைப் பெறக்கூடிய கிளாஸ்ட்ரான் பெருக்கிக் குழாய்கள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. இன்னும் அதிக அதிர்வெண்களில் இதிலிருந்து கிடைக்கக்கூடிய சராசரித் திறன் குறைகிறது. இதுவரை ஏறத்தாழ ஒரு கிலோவாட் சராசரித் திறன் 35 *Gc/s*-ல் உற்பத்தி செய்யப்பட்டுள்ளது. நடைமுறையில் உள்ள சில மின்குழாய்களின் வெளிவரு மின்னழுத்தம் படம் 29·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஆர்பிலிட்ரான் என்பது வெகு சமீப காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதாகும். இது அதிகப் பயனுறு திறனையும், சுமாரான பட்டை அகலத்தையும் குறைவான இலாபத்தையும் (low gain) உடைய அலைப்பெருக்கியாகும். இது அதிகப் பயனுறு திறனைப் பெற்றிருப்பதால் குழாய்க்குள்ளேயே வெப்பத்தை வீசுகிறது. ஆகவே அதிகத் திறன் மட்டத்தில் இயங்கக்கூடியதாக உள்ளது. ஆனால், இக்குழாய் உருவத்தில் சிறியது. இதன் குறைந்த இலாபமும் ஓர் இடையூறாகும். இம்மின்குழாய், உயர் திறன்

ராடார் வானியல் சோதனைகளில் இன்னும் முழுமையாகப் பயன் படுத்தப்படவில்லை.




**படம் 29·2**

சில R. F பெருக்கி மின்குழாய்களின் சராசரித் திறனுக்கும் அவற்றின் அதிர்வெண்களுக்கும் உள்ள சார்பலன் காட்டப்பட்டுள்ளது.

உயர் திறன், இடைவாய் கட்டுப்படுத்தும் ட்ரையோடு, டெட்ரோடு பெருக்கிக் குழாய்கள் முக்கியமாக 1000 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி -ஐ விடக் குறைந்த அதிர்வெண்ணில் இயக்கப் பயன்படுகின்றன. 500 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-க்கும் குறைவான அதிர்வெண்களில் இவை உச்சத் திறனையும் அதிகச் சராசரித் திறனையும், 13-17 வரை இலாபத்தையும் தருகின்றன. இதைப் பயன்படுத்தும்பொழுது அநேக தனித்தனியான திறன் கொடுக்கும் மின்னழுத்தங்களும் இயைவைக் கட்டுப்படுத்தும் சாதனங்களும் வேண்டுவது இதிலுள்ள இடையூறுகும். இவற்றைக் கிளாஸ்ட் ரான்களுடன் ஒப்பிடும்பொழுது இவை குறைந்த மின் எதிர்ப்புகளை உடையனவாகும். எனவே குறைந்த மின்னழுத்தங்களில் (20-30 கிலோ வோல்ட்) இவற்றை இயக்கலாம். மேலும், ஒரே மின் குழாயை அதிகமான அதிர்வெண்களில் பயன்படுத்த

லாம். ஓர் உயர்திறன் ட்ரையோடு பெருக்கியின் பயனுறு திறன் ஏறக்குறைய 40% ஆகும்.

ட்ரையோடு அல்லது கிளைஸ்ட்ரான் மின் குழாய்கள் முன்னேற்றம் அடைந்த அளவு உயர் திறன் இயங்கு அலைக் குழாய்கள் முன்னேற்றம் அடையவில்லை. எனினும் இயங்கு அலைக் குழாயின் பகுதிகளான எலெக்ட்ரான் துப்பாக்கி (electron gun), ஏற்பு வாய் (collector), புறவாய்ச் சன்னல்கள் (out put windows) கிளைஸ்ட்ரான் மின் குழாய்களில் உள்ளதைப் போலவே அமைந்துள்ளன. எதிர்காலத்தில் இயங்கு அலைக் குழாயில் ஏற்படும் முன்னேற்றம் கிளைஸ்ட்ரானின் அமைப்பில் ஏற்பட்டு உள்ள முன்னேற்றங்களின் அடிப்படையில்தான் அமையும். இயங்கு அலைக் குழாய்கள், அவற்றின் நீண்ட பட்டை அகலத்தினாலும் சுமாரான பயனுறு திறனாலும் பகுத்தறியப்படுகின்றன. அலைவைக் குறைக்கவும், தேவையற்ற அலைகளைக் கட்டுப்படுத்தவும் குழாய்க்குள் மெலிப்பான்களைப் (attenuator) பயன்படுத்த வேண்டியிருப்பதால், இவ்வியங்கு அலைக் குழாய்கள் நடைமுறையில் வெகு உயர் திறன் குழாய்களாகப் பயன்படுத்தப்படவில்லை. இருப்பினும், நீண்ட பட்டை அகலங்களில் இக் குழாய் மட்டுமே உடயோகமாக இருக்கும்.

**திறன் மூலம், பண்பேற்றம், வெப்ப மாற்றச் சாதனம் (Power supply, modulation, Heat transfer equipment)**

வெகு உயர் திறன் மட்டங்களில் ஒரு பரப்பியை நிர்மாணிப்பதற்கு ஆகும் செலவில் பெரும் பகுதி மின்னழுத்த மூலங்களை அமைப்பதற்கே ஆகின்றது. அதிர்ஷ்டவசமாக, மின்னழுத்த மூல சாதனங்களை அதிகப் பயனுறு திறன் உடையதாக (95% மேல்) அமைக்கலாம். இருப்பினும், மின் மாற்றிகள் (transformers), சுவிட்சு கியர் (switch gear), திருத்திகள் (rectifiers), மின் தேக்கிச் சேமிப்புகள் (capacitor banks), வெப்ப மாற்றும் சாதனம் ஆகியவை ராடார் வானியல் நிலையத்தில் கணிசமான விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்கும். உயர்திறன் ராடார்களில் உள்ள மின்னழுத்த மூலங்களில் பயன்படும் அடிப்படை மின் சுற்றுக் கூறுகள் சாதாரணக் குறை திறன் ராடார் நிலையங்களில் பயன்படும் மின்னழுத்த மூலங்களில் உள்ள அடிப்படைக் கூறுகளினின்றும் மாறுபட்டிருப்பதில்லை. ஒரு தகட்டு மின் மாற்றியின் (plate transformer) முக்கியச் சுருளுக்கு (primary) மாறுபடும் மின்னழுத்தத்தைக் கொடுப்பதற்கு மூன்றுகட்ட (three phase) 60 சுற்று விநாடி திறனைத் தூண்டு ஒழுங்குபடுத்தியுடனோ (induction regulator)

அல்லது மாற்றியசமைக்குப் தன்மையுடைய ஒழுங்கு படுத்தும் மின் மாற்றியுடனே உபயோகிப்பது படித்தரமான (standard) முறை யாகும். தகட்டு மின் மாற்றியின் துணைச் சுருள் முழு அலைத் திருத்தியமைப்பிற்குத் (full wave rectifier) தேவைப்படும் மின்ன ழுத்தத்தைக் கொடுக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. ஒரு சில ஆண்டுகளுக்கு முன் வரை வெப்ப அயனி வெற்றிட டயோடுகள் உயர் அழுத்த மாறு திசைத் திறனைத் திருத்துவதற்குப் பெருமள வில் பயன்படுத்தப்பட்டன. 60-லிருந்து 80 கிலோ வோல்டுகள் வரையில் திருத்தி மின் குழாய்கள் பொதுவாக மின்னழுத்தக் காப்பில் உள்ள (voltage insulation) இடையூறுகளைக் குறைப் பதற்கு எண்ணெய் நிரப்பப்பட்ட கலங்களில் வைக்கப்பட்டன. பொதுவாக. ஓர் எண்ணெய் நிரப்பப்பட்ட கலத்தில் ஒரு முழு அலைச் சுற்றில் இத்தகைய 7 டயோடுகள் வைக்கப்படுகின்றன. இது 120 கிலோ வோல்ட் மின்னழுத்தத்தில் ஏறத்தாழ 480 கிலோ வாட்டுகள் சராசரித் திறனைக் கொடுக்கிறது. சென்ற சில ஆண்டுகளாக உயர் மின்னழுத்தத் திறன் மூலங்களில் சிலிக்கண் டையோடு திருத்திகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றில் ஃபிலமிண்ட், மின் மாற்றிகள் ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்த வேண்டியதில்லை, மேலும். அவை அதிக காலத்திற்கு உழைக் கின்றன. ஒரு சிலிக்கண் திருத்தி சில பத்து வோல்ட்டுகளையே கொடுக்குமாதலால், அதிக எண்ணிக்கையுள்ள திருத்திகள் தொடர் இணைப்பு முறையிலோ அல்லது தொடர் பக்க இணைப்பு முறையிலோ தேவையான மின்னழுத்தத்தையும் மின்னோட்டத் தையும் கொடுப்பதற்கு இணைக்கப்படுகின்றன.

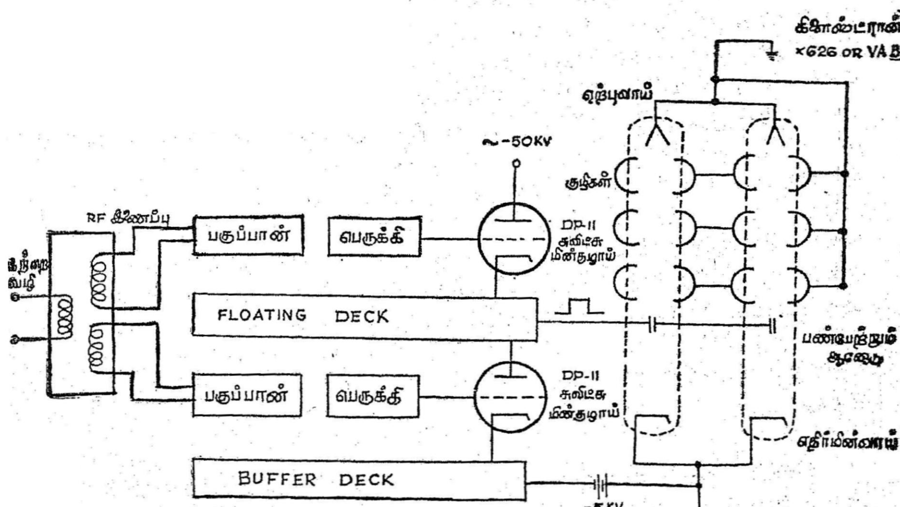
ஒரு துடிப்புப் பெருக்கிக்குத் தேவையான வெகு உச்ச மின் னோட்டங்களைக் கொடுப்பதற்கு உயர் மின்னழுத்த மின் தேக்கிகள் அடங்கிய ஆற்றல் சேமிப்பு நிலையம் பொதுவாக உபயோகத்தி லிருந்து வருகிறது. துடிப்பை வெளியே அனுப்பும் பொழுது பரப் பியின் மின்னழுத்தத்தை ஓர் குறிப்பிட்ட மட்டத்தில் நிலை நிறுத்த மின் தேக்கிச் சேமிப்பு நிலையத்தில் தேவையான ஆற்றலைச் சேர்த்து வைக்கவேண்டும். கிளைஸ்ட்ரானைப் பயன்படுத்தும் பொழுது. துடிப்பு செல்லும் நேரம் உள்ளிடு சைகைக்கும் வெளி வரும் அலை வடிவத்திற்கும் உள்ள சார்புக் கட்டம் (relative phase) மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்துள்ளது. எனவே துடிப்புகளை யனுப்புமபொழுது இத்தகைய குழாய்களைப் பயன்படுத்தி ஆற்றலைச் சேமித்து மின்னழுத்தத்தை நிலையாக வைத்திருக்க வேண்டும். மின்னழுத்த மூலத்தைத் தேவையான அளவு கட்டுப் படுத்தாவிடில், பரப்பப்படும் துடிப்பில் ஏற்படும் கட்டப் பண் பேறறத்தை முன் கூட்டியே அறிய முடியுமாயின், *RF* கிளர்ச்சி

யூட்டும் சைகையின் கட்டத்தை மாற்றி, இந்தக் கட்ட பேதத்தை ஈடு செய்யலாம். பரப்பியிலிருந்து அனுப்பப்படும் துடிப்புகள் பல நூறு மைக்ரோ வினாடிகளுக்கும் அதிகமான நீளத்திலிருக்கும் பொழுது அவற்றைக் கொண்டு அளவீடுகளைச் செய்ய ஈடு செய்யும் தொழில் முறைகள் முக்கியமாகும். மில்ஸ்டோன் துடிப்பு ராடாரில் ஈடு செய்தல் பரப்பியில் நடைபெறுகிறது; ஏற்பியில் செய்யப்படவில்லை. நிகழும் கட்ட மாற்றம் ஏறத்தாழ நேர் கோட்டு முறையில் நடக்கிறது. இதனால் நிகழும் அதிர்வெண் பெயர்ச்சி. சுமார் 100 சுற்றுகள்/வினாடி ஆகும். ஏற்பியை இதே அளவிற்கு இசைவித்தலிலிருந்து மாற்றி இதை ஈடு செய்யலாம். கூடவே, துடிப்புகளிடையே கட்ட ஓரியலும் மாறுதிருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. இடைவாய்க் கட்டுப்பாடு செய்யும் மின் குழாய்களைப் பயன்படுத்தும் பொழுது ட்ரையோடுகளைவிட டெட்ரோடுகள் குறைந்த மின்னழுத்தங்களிலேயே இயங்குகின்றன. ஏனெனில், டெட்ரோடுகளில் நேர்மின்வாய் (Anode) மின்னோட்டம் மின்னழுத்தத்தைச் சார்ந்திருப்பதில்லை. ஆகவே, வெளிவரு மின்னழுத்தம் நேராக $V$ ஐப் பொறுத்து (ட்ரையோடு மின் குழாய்களில் உள்ளதைப் போல் $V^2$ ஐப் பொறுத்தல்ல) மாறுகிறது.

மேலே கூறியவற்றிலிருந்து ஒரு பரப்பப்பட்ட துடிப்பியின் ஆற்றலைப் போல் சுமார் 20 பங்கு ஆற்றலைச் சேமித்து வைக்கக் கூடிய ஒரு மின் தேக்கி ஆற்றல் சேமிப்பு நிலையத்தைப் பயன்படுத்துவது சாலச் சிறந்தது எனத் தெரிகிறது. $RF$ பெருக்கிக்கும் இடையே சில தொடர் சுவிட்சுக் குழாய்களையோ அல்லது துடிப்புப் பண்பேற்றிகளையோ கொண்டு இணைக்கலாம். இதனால் துடிப்பின் நேரத்தில் மட்டுமே உயர் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. மாறாக, ட்ரையோடு, டெட்ரோடு குழாய்களைப் பயன்படுத்தும்பொழுது மின்னழுத்தத்தை தொடர்ச்சியாகக் கொடுக்கலாம். ஆனால் மின் குழாய்க்கு வெட்டு நிலைக்கு (cut of) அப்பால் நூர்பு (bias) மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்க வேண்டும். இவ்வாறு $RF$ சைகையை இடை வாய்க்குக் கொடுக்கும் பொழுது மட்டுமே மின் குழாயில் மின்னோட்டம் நிகழ்கிறது. இந்த இடை வாய்ப் பண்பேற்றத் தொழில் முறை மிகத் துரிதமான மின்னோட்ட அதிகரிப்புகளை அனுமதிக்கிறது.

கிளைஸ்ட்ரான் மின் குழாயின் அத்தியாவசியமான உறுப்பாக இணைப்புச் செயலைச் செய்யலாம். எதிர் மின்வாய்க்கும், முதல் $RF$ குழிக்கும் இடையில் ஒரு தனித்தன்மை வாய்ந்த பண்பேற்றும் சாதனத்தைக் கொண்டு இது செய்யப்படுகிறது. எலெக்ட்

ரான்கள் ஓட்டத்தில் ஏற்படும் விளைவுகளைக் குறைப்பதற்காகப் பண்பேற்றும் ஆனோடு, ஓர் உள்ளீடற்ற வளைய அமைப்பில் உள்ளது. இது எதிர்மின்வாய்க்கருகே நிலை மின் புலத்தை (static electric field) மாற்றுகிறது. ஆனால் எலெக்ட்ரான் கற்றைகளைக்




ஒரு உயர்திறன் கிளைஸ்ட்ரான் பெருக்கிகளில் கற்றை மின்னோட்டத்தைப் பண்பேற்றும் இணைப்பு அமைப்பின் திட்டப்படம்

படம் : 29.3.

குறுக்கிடுவதில்லை. இச் சூழ்நிலைகளில் எலெக்ட்ரான் பரவல் குறைவாக இருப்பதால் பண்பேற்றம் ஆனோடுக்குக் கொடுக்கப் படும் மின்னழுத்த மாறுபாடு மிக அதிகமாக இருக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக பண்பேற்றம் ஆனோடு கிளைஸ்ட்ரான் மின் சுழாய்கள் அவற்றிற்குக் கொடுக்கப்பட்ட மொத்த மின்னழுத் தத்தில் ஏறத்தாழ 50 — 70 விழுக்காட்டைப் பண்பேற்றும் மின் னழுத்தங்களாக எடுத்துக் கொள்கின்றன. ஓர் எடுத்துக்காட் டான நீண்ட துடிப்புப் பண்பேற்றம், ஆனோடு கட்டுப்பாடு சுற்று, திட்ட அமைப்பு படம் 29·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

கிளைஸ்ட்ரான் மின் சுழாய்களில் எலெக்ட்ரான் கற்றைகளைக் கட்டுப்படுத்தத் தனித்தன்மை வாய்ந்த இடைவாய்களும் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

**டியூப்ளக்சர் (T. R. Switch)**

பல ராடார் வானியல் சோதனைகளில் பரப்பியிலிருந்து ஆன்டென்னுவை ஒரு சாதாரணச் சுவிட்சினால் பிரிப்பதற்குப் போதுமான நேரம் உள்ளது. இத்தகைய சுவிட்சுகள் தொடக்கத்தில் வெள்ளியை ஆராய்வதற்கு ஜோட்ரல் பாங்க், மில்ஸ்டோன் ஆகிய சோதனைச் சாலைகளில் நடைபெற்ற பரிசோதனைகளில் பயன்படுத்தப்பட்டன. மற்ற ஆய்வுக் கூடங்களில் பரப்பிகளிலும், ஏற்பிகளிலும் தனித்தனி ஆன்டென்னுக்கள் பயன்படுத்தப்பட்டன. எனவே *T. R.* சுவிட்சு தேவையில்லாது போயிற்று எனினும், பரப்பி இயங்கும் பொழுது இரு துடிப்புக்களுக்கு இடைப்பட்ட நேரத்தில் ஏற்பி இயங்க வேண்டிய சூழ்நிலைகள் ஏற்படலாம். இம் மாதிரி நிலைகளில் ஒரு திசையில் வட்டத் தள விளைவுற்ற அலைகளைப் அனுப்பி, எதிர்த் திசையில் வட்டத் தள விளைவுற்ற அலைகளைப் பெறுவது நன்மையாகும். இதைச் செய்தால் பரப்பிக்கும் ஏற்பிக்கும் இடையேயுள்ள கலப்பினத்தில் 30 *db* கள் வரை பிரிக்கலாம். எனவே, *T. R.* சுவிட்சு கையாள வேண்டிய உச்சத் திறன் கணிசமான அளவு குறைகிறது. எனவே அதன் நுட்பமும் அமைப்பும் அதில் ஏற்படக் கூடிய நட்டங்களும் வெகுவாகக் குறைகின்றன.

குறை அதிர்வெண்களில் அமைப்பு இரைச்சல் வெப்பநிலை ஆன்டென்னுவிற்கு வெளியே உள்ள மூலங்களிலிருந்து வரும் பொழுது ஏற்பியல் பரப்பியிலிருந்து கசியும் திறன்களைத் தாங்கக் கூடிய அளவுக்குப் பெருக்கிகளை அமைப்பது சாத்தியம் எனத் தெரிகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, *WE* 6280 வகையைச் சார்ந்த குறை இரைச்சல் ட்ரையோடு வகை *RF* பெருக்கிகள் பல நூறு வாட்டுகள் உச்சத் திறனையும் போதுமான அளவு சராசரித் திறனையும் சீர்கேடின்றிக் கையாள முடியும். ஏறத்தாழ 50 வாட்டுகள் உச்சத் திறனையும், 5 வாட்டுகள் சராசரித் திறனையும் விரயமின்றி கையாளக் கூடிய எலக்ட்ரான் கற்றைச் சாரா மாறிப் பெருக்கிகள் கட்டப்பட்டுள்ளன. ஜெர்மானியம் டையோடுகளைப் பயன்படுத்தும் சாரா மாறிப் பெருக்கிகள் பொதுவாக 10 மில்லி வாட் சராசரித் திறனைத் தாங்கும். சிலிக்கன் டையோடுகள் இவற்றைவிடச் சிறந்தவை. பரப்பிக் கசிவிலிருந்து பாதுகாக்கும் நோக்கத்துடன் ஆராயும் பொழுது, மேசர் எல்லாவற்றிலும் திறன் குறைந்ததாகும். ஒரு கெம்பு வகை (ruby maser) யைச் சார்ந்த மேசரை அதன் தளர் நேரம் (relaxation time) பல வினாடிகள் இருக்கும் அளவிற்குக் கிளர்ச்சி யூட்டக் கசிவுத் திறன் மட்டம் $10^{-8}$ வாட்டுகள் இருந்தால் போதும் என்று தெரிகிறது.

நீண்ட அலைநீளங்களில் இரட்டைக் கம்பி (twin wire) ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இங்கு *ATR*. *TR* சுவிட்சுகளில் பொறி இடைவெளிகள் பொதுவாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. உயர் திறன் மட்டங்களில் இவை, காற்றிலுள்ள டங்ஸ்டன் தண்டுகளாகும். *UHF*-ல் ஓரச்சுக் குழிகள் (coaxial cavities) பொதுவாகப் பயனில் உள்ளன. பரப்பித் துடிப்பின் பொழுது ஒரு டயோடினால் கடத்தும்படி செய்தோ அல்லது ஒரு வாயு மின்னிறக்கக் குழாயைக் கொண்டு எரிவித்தோ குழி ஒத்தியைவு நீக்கப்படுகிறது. பொதுவாக, வாயு மின்னிறக்கக் குழாய்கள் (gas discharge tubes) மற்ற அமைப்புகளை விட உகந்தவை. ஏனெனில் அவை, தாமே இயங்குகின்றன; அவற்றை இயக்கு வதற்குக் கூடுதலான ஆற்றல் வேண்டியதில்லை. சிறு அலைநீளங் களில் ஒரு சுவிட்சாக இயங்குவதற்குக் குழாயை ஓர் அலை வழி காட்டியில் நேரடியாக வைக்கலாம்.

பெரும்பாலும் உயர் திறன் பல அதிர்வெண் வாயுக் குழாய் *TR* சுவிட்சு பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இது படித்தர *WR* 2100 அலை வழிகாட்டியைப் பயன்படுத்துகிறது; 425 மெகா சுற்றுகள்/ விநாடி-ல் இயங்குகிறது. அலைவழி காட்டியின் பரிமாணங்கள் $10\frac{1}{2}'' \times 21''$ ஆகும். ஏற்பிச் சுற்றுக்குப் புறவாய் இணைப்பு $1\frac{1}{2}''$ விட்டமுடைய ஓரச்சுக் கம்பியினால் செய்யப்படுகிறது. சுவிட்சுக் குழாயில் காற்றினால் குளிர்விக்கப்பட்ட செவ்வகக் குழிகளில் உள்ள *TR*, *ATR* குழாய்கள் உள்ளன. வாயுக் குழாய் *TR* சுவிட்சு சேதமடையாமல் இருப்பதற்கு, சுற்று முறிதல் நிகழும் பொழுது வில் இடைவெளியில் (arc gap) உள்ள மின்னழுத்தம் போதுமான தாக இருக்க வேண்டும். முறிதல் (break) உள்ளவரை ஓரளவு கசிவுத் திறன் வெளியேற்றப்படும். நடைமுறையில் கசிவுத் திறனைச் சுமார் 200 மில்லி வாட்டுகள் வரை குறைத்துள்ளனர். இது உள்ளிடு மின்னழுத்தத்தைச் சார்ந்து அமைவதில்லை. இத்தகைய *TR* சுவிட்சுகள் 300 மெகா வாட்டுகள் உச்சத் திற னுக்கும் 75 கிலோ வாட் சராசரித் திறனுக்கும் சோதிக்கப்பட் டுள்ளன. பரப்பிக் கம்பியில் ஏற்படும் விரயம் ஒதுக்கத் தக்க அளவினதேயாகும். மொத்தச் செலுத்துகை (insertion) இழப்பு ஏற்பியில் 0·4 *db* -க்கும் குறைவாகும். ஏற்பி வாய்க்கால் தனது பழைய நிலையை அடைவதற்கான நேரம் 200 மைக்ரோ விநாடி இடைவெளியில் அதன் மொத்த மதிப்பில் 0·3 *db* இருக்கும்.

*TR*, *ATR* சுவிட்சுகளில் பயன்படும் வாயுக் குழாய்களில் 0·08" இடைவெளியில் இரு கண்ணாடி உருளைகள் உள்ளன. உருளைகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளி, 4 மில்லி மீட்டர்

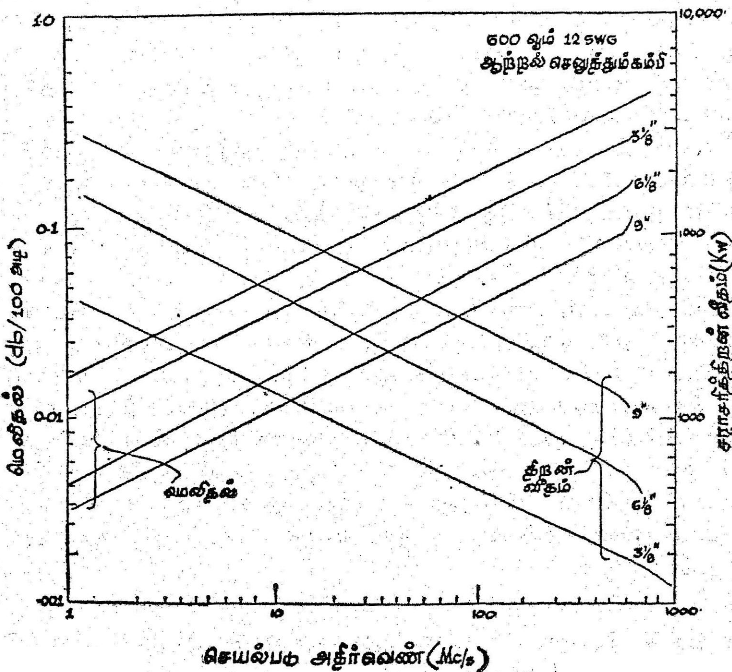
அழுத்தத்தில் ஹீலியம் வாயுவால்நிரப்பப்பட்டுள்ளது. பரப்பி கதிர் வீசும் பொழுது வாயு அயனியாக்கம் அடைந்து 'ஒத்தியைவு $\overline{TR}$, $ATR$ குழிகளை ஒத்தியைவினின்றும் விலக்குகிறது. இத்தகைய $TR$ சுவிட்சுகள் மில்ஸ்டோன் ஆய்வுக் கூடத்தில் பெருமளவு உபயோகப்படுத்தப்பட்டன. இவை, தற்பொழுது, ஆர்சிபோவி லுள்ள 1000 அடி ஆன்டென்று அமைப்பில் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

ஏற்பியைப் பாதுகாப்பதற்கான பல்வேறு வெவ்வேருன தொழில் நுணுக்கங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. கோள்களை ஆராயும் ராடார் சோதனைகளில் அளவீடுகளுக்கிடையே நீண்ட நேரம் இருப்பதால் மின்சாரத்தால் இயங்கும் இயந்திர அலை வழிகாட்டிச் சுவிட்சுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவை குறைந்தது 80 *db*-களைப் பிரித்துக் கொடுக்கின்றன, மேலும் 20 *db*-கள் கூடுதலாக வட்ட அல்லது தளவிளைவற்ற தேர்வு வலையமைப்பைக் கொண்டு பெறப்படுகின்றன இவ்விதம், பரப்பி யின் கசிவுத் திறன் ஒரு மேசரையோ அல்லது சாராமாறிப் பெருக்கிகளையோ உபயோகிக்கும் அளவுக்குக் குறைக்கப்படுகிறது. குறுகிய துடிப்புகள் இயக்கத்தில் அனுப்பப்படும் துடிப்பு பல மில்லி விஞடிகள் நீளமிருக்கும். துடிப்புகளுக்கிடையே உள்ள நேரம் ஒரு விஞடியில் ஒரு பகுதியே இருக்கும். எனவே தனித் தன்மை வாய்ந்த காப்புக் கருவிகள் தயாரிக்கப்பட்டுள்ளன. $X$ பட்டை அலை வழிகாட்டியில் ஓர் இயல்பான பகுதியில் ஒரு கட்டுப்பாடு செய்யப்பட்ட வாயு மின்னிறக்கக் குழாயைக்கொண்டு இது செய்யப்படுகிறது. வாயு மின்னிறக்கம் அடையும் பொழுது குழாய் 80-லிருந்து 100 *db* வரைப் பிரிகையைக் கொடுக்கிறது. வாயு மின்னிறக்கம் அடையாதபொழுது அலை வழிகாட்டியின் மெலிப்பான் 0·05 *db* ஆகும். இந்த அமைப்பில் கருவி தன் னுடைய பழைய நிலைக்கு வருவதற்கான நேரம் 300 மைக்ரோ விஞடியேயாகும்.

**உயர் திறன் *RF* ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகள் (High power *RF* Transmission lines)**

ராடார் வானியலிலுள்ள ஆன்டென்று ஊட்டு அமைப்புகள் ரேடியோ வானியலிலுள்ளவைபோல் அல்லாமல் பெருமளவு *RF* திறனைக் கையாளக் கூடியனவாக இருக்கவேண்டும். 100 மெகா சுற்றுகள்/விஞடி -க்கும் குறைந்த அதிர்வெண்களில் இரட் டைக் கம்பி ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியையோ அல்லது தாமிர ஓரச்சு ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பிகளையோ பயன்படுத்தலாம்.

திறந்த இரட்டைக் கம்பி அமைப்பு சிக்கனமானது; எளிதில் அமைக்கக்கூடியது. மாறாக, அது மின்சார முறையில் சம்பந்தப் படுத்தப்பட்டுள்ளதை உறுதி செய்து கொள்ளவேண்டும். இல்லை யெனில் கம்பிகளிலிருந்து கதிர் வீசல் கணிசமான அளவு இருக்கும். 0·08" விட்டத்தினால் செய்யப்பட்டதும், 7" இடை வெளி உள்ளதுமான ஒரு திறந்த இரட்டைக் கம்பியின் சிறப் பியல்பு மின் எதிர்ப்பு (charecteristic impedance) 600 ஓம்களாக இருக்கும்பொழுது எதிர்பார்க்கப்படும் மெலிப்பான் படம் 29·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

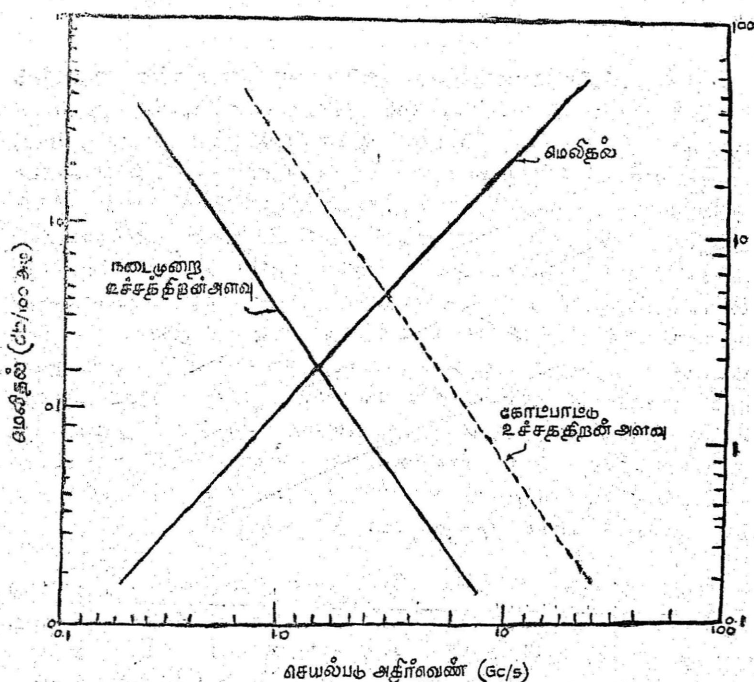



படம் 29·4

செயல்படு அதிர்வெண் (Mc/s)

இரு கம்பிகளின் இடையேயுள்ள பிரிவைப் பாதுகாக்கும் நிரப்புவான்களால் (spacers) உண்டாகும் கூடுதலான ஆற்றல் விரயத்தைப் படம் காட்டவில்லை.

100 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி-க்குக் குறைவாகவும், 400 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி வரையிலும் திண்மையான தாமிர ஓரச்சு ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பியை உபயோகிப்பது வழக்கம். இவை படித்தரப் பருமன்களில் ($3\frac{1}{8}''$, $6\frac{1}{8}''$, $9''$ விட்டங்கள்) கிடைக்கின்றன. இவற்றில் மெலிப்பான் தன்மைகளும் இவை கையாளக் கூடிய சராசரித் திறன் பண்பியல்களும் படம் 29·4 காட்டப் பட்டுள்ளன. 400 மெகா சுற்றுகளுக்கு மேல் செவ்வக அலை வழிகாட்டிகள் சிறந்ததனவாகக் கருதப்படுகின்றன. படம் 29 5 அலை வழிகாட்டியின் மெலிதல் எவ்வாறு செயல்படு அதிர்வெண்ணிற்குத் தகுந்தாற்போல் மாறுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.




படம் 29·5.

அலை வழிகாட்டி மெலிதலுக்கும் அதிர்வெண்ணிற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டும் வரை படம்

சாதாரண ஓர் அலை வழிகாட்டியின் மெலிதல் மதிப்பிற்கும் அதிர்வெண்ணுக்கும் உள்ள தொடர்பும்; அத்துடன் ஆக்ஸிஜன் இல்லாமல் இருக்கும்பொழுது கோட்பாட்டு உச்சத் திறன் வீதமும்,

அலை வழிகாட்டி காற்றினால் நிரப்பப்படும்பொழுது நடுத்தரமான நடைமுறை வீத மதிப்புகளும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

ஓர் அலை வழிகாட்டியின் மெலிதலும், உச்சத் திறன் பண்பியல்புகளும் ஓர் ஓரச்சு அமைப்பைவிட உயர்ந்த தன்மையைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவ்விரண்டு வகைகளிலும் உண்டாகும் செலவு முதல் பிரச்சினையாக உள்ளது; அதோடு அவற்றைத் தாங்கி நிற்பதற்கு ஓர் அமைப்பு தேவையாகவுள்ளது. 400 மெகா சுற்றுகளுக்குக் கீழ் ஓர் அலை வழிகாட்டியில் ஏற்படும் இழப்புகளும் உச்சத் திறனும் ஓர் இடையூறாக இருப்பதில்லை; ஏனெனில் இவற்றில் உற்பத்தியாகும் உச்சத் திறனையும் சராசரித் திறனையும் எளிதில் கையாளலாம்.

அதிக அதிர்வெண்களில் அலை வழிகாட்டியில் ஏற்படும் இழப்புகள் முக்கியமானவையாகும். அலை வழிகாட்டியின் திறனைக் கையாளும் திறமையும், சுழல் இணைப்புகளும் (rotary joints) இயங்கும் முறையில் ஒரு வரம்பை ஏற்படுத்தலாம். 1000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி -ல் அலை வழிகாட்டியின் மெலிப்பான் 100 அடிக்கு ஏறத்தாழ 0·15 *db* ஆகும். 10 Gc/sec-ல் 100 அடியில் இழப்பு 3*db*-க்கு அதிகரிக்கிறது. அலை வழிகாட்டியின் ஃபிளாஞ்சிலும் (flange). வளைவுகளிலும், சுழல் இணைப்புகளிலும் நடைமுறையில் உள்ள உண்மையான இழப்பு இன்னும் சற்று அதிகமாக இருக்கும். இக் காரணங்களுக்காகவே உயர் அதிர்வெண் ராடார் வானியல் நிலையங்களில் பரப்பி, ஏற்பி ஆகியவற்றின் பகுதிகளை ஆன்டென்னாவிற்கு அருகே அமைப்பது அவசியமாகிறது. *UHF* மில்ஸ்டோன் ஹில் ராடார் பரப்பியை ஆன்டென்னா ஊட்டு அமைப்புடன் இணைப்பதற்கு 300 அடி நீள அலை வழிகாட்டி பயன்படுத்தப்பட்டது.

1000 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி அதிர்வெண்களில் எழுகின்ற மற்றுமோர் இடையூறு, அலை வழிகாட்டியின் உச்ச அல்லது சராசரித் திறன் விளைவுகள் அதிகரித்தலாகும். படம் 29·5; செவ்வக அலை வழிகாட்டியின் கோட்பாட்டு உச்சத் திறன்களை, அதிர்வெண்களின் சார்பில் காட்டுகின்றது. பொதுவாக அலை வழிகாட்டி, உலர்ந்த காற்றில் உள்ள வளிமண்டல அழுத்தத்தைப் பொறுத்து சில பவுண்டுகள் அழுத்தத்தில் பாதுகாக்கப்படுகிறது. இந்நிலையில் படம் 29·5-ல் உள்ள கோடுகள் காட்டுகின்ற உச்சத் திறன்களைவிடக் குறைந்த உச்சத் திறன்களில் முறிதல் ஏற்படும். ஏனெனில், ஃபிளாஞ்சிலோ அல்லது கூர்மையான முனைகளிலோ அல்லது வளைவுகளிலோ உள்ள வலுவான உள்ளிடப் புலன்களால்

மின்னிறக்கங்கள் தூண்டப்படலாம். படம் 29·5-ல் உள்ள தொடர்ச்சியான கோடு, காற்று அடங்கியுள்ள அலை வழிகாட்டிக்குச் செயல்முறை உச்சத் திறனைக் காட்டுகிறது. அலை வழிகாட்டியை ஒரு மந்த வாயுவைக் கொண்டு (கந்தக ஹெக்ஸா ஃபுளோரைடு ($SF_6$) அழுத்தமூட்டி அயனியாக்கம் அடையும் வாய்ப்பைக் குறைக்கலாம். இம்முறையில் கோட்பாட்டிற்கு உகந்த வரை கோடுகளைப் பெறலாம்.

அண்மையில் அதிகத் திறனுடைய $RF$ மூலங்கள் கிடைக்கப் பெற்றுள்ளன. இவை அலை வழிகாட்டியின் திறனைக் கையாளும் திறமைக்குச் சவாலாக அமைந்துள்ளன. வெகு அதிகமான அதிர்வெண்களில் இந்தத் திறனைக் கையாளும் வரம்பு காலப் போக்கில் மிகவும் இன்றியமையாததாகும். காட்டாக, 8 $GC/S$ கிளைஸ்ட்ரான் பெருக்கிக் குழாய்கள் இப்பொழுது கிடைக்கின்றன. இவை 200 கிலோ வாட்டுகள் சராசரித் திறனை உண்டாக்கக் கூடியவை. இவை மேலும் அதிகமான திறன்களையும் உண்டாக்கக் கூடிய வாய்ப்பைக் கொண்டவை. இத்திறன் மட்டத்தில் வெள்ளி (silver) அலை வழிகாட்டியில் ஏற்படும் இழப்பினால் அதிகமான வெப்பநிலை உயர்வு ஏற்படலாம். எனவே நீரால் குளிர்விக்கும் சாதனங்கள் கையாளப்பட வேண்டும். ஓர் அலை வழிகாட்டியில் 9 $GC/S$ அதிர்வெண்ணில் 400 கிலோவாட்டுக்கு மேற்பட்ட ஆற்றலை அழுத்தமூட்டிய பிறகும் கூட கையாள்வது கடினம் என்பது படம் 29·5-ல் இருந்து தெரிகிறது.

பரப்பியின் இறுதிப் பெருக்க நிலையை ஏற்பியின் முதல் நிலையுடன் பரவலைய எதிரொளிப்பானின் பின்புறத்தில் நேரடியாக இணைத்து $RF$ இழப்புகளைக் குறைக்கலாம் இம்முறை ஹேய் ஸ்டேக் அமைப்பில் கையாளப்பட்டுள்ளது. இது சரியாக அமைக்கப்பட்டு ஏறத்தாழ 20 பங்கிலிருந்து 1 பங்குவரை மாறும் அதிர்வெண் பட்டையில் இதைப் பயன்படுத்தலாம். குறை இரைச்சல் ஏற்புப் பகுதிகள், $TR$ சுவிட்சு, $RF$ இறுதிப் பெருக்கிக் குழாய் ஆகியவற்றை நேரடியாக ஊட்டுக் கம்பியின் பின்புறத்தில் வைத்து அவற்றை மிகக் குறைந்த நீளமுள்ள அலை வழிகாட்டியினால் இணைக்கலாம். சுழல் இணைப்புகள் எவையும் தேவைப்படா. ஆன்டென்னு அமைப்பின் புவி ஈர்ப்புத் தானத்திற்கருகே இவை யாவற்றையும் வைப்பதால் இவற்றின் எடையை எளிதில் சமாளிக்கலாம்.

ராடார் வானியலில் பயன்படும் பரப்பிகள் அமைப்பு பற்றிய சில கருத்துகளை இப் பகுதியில் பார்த்தோம். சிக்கல்கள்

நிறைந்த விலையுயர்ந்த சாதனங்களைக் கொண்டு மட்டுமே அதிக அளவில் பரப்பியின் திறனைப் பெற முடியும். தனிப்பட்ட பரப்பிக் குழாய்கள் $10^5$ வாட்டுகளுக்கும் அதிகமான சராசரித் திறனையும், $10^6-10^7$ வாட்டுகள் வரையில் உச்சத் திறனையும் கொடுக்கின்றன. இன்னும் அதிகத் திறனுக்குப் பல்வேறு குழாய்களைத் தக்க முறையில் இணைக்க வேண்டும். துடிப்புப் பரப்பிகளில் மின் தேக்கிச் சேமிப்புகளிலும் தாமதக் கம்பிகளிலும் (delay lines) சுழல் எந்திரங்களிலும் ஆற்றல் தேக்கி வைக்கப்பட வேண்டும். இம்முறையில் பெறக் கூடிய நன்மைகளுக்கு எல்லையில்லை என்பது புலனாகிறது. ஆனால் சாதனங்கள் மிகப் பெரியனவாகவும் விலையுயர்ந்தனவாகவும் தேவைப்படுகின்றன. மிக அதிக உச்சத் திறன் பரப்பிகளில் குளிர்விக்கும் அமைப்பு, பரப்பியைத் தொலைவிலிருந்து இயக்குவதற்குத் தேவையான கட்டுப்படுத்தும் சாதனம், *X*-கதிர் காப்பான் (X ray shielding) பாதுகாப்பு உபாயங்கள் ஆகியவற்றினால் அவற்றின் விலை அதிகமாகிறது.

ஓரியல் பெருக்கிகளைப் பயன்படுத்தும் நீண்ட துடிப்பு-உயர் சராசரித் திறன் பரப்பிகள் எப்பொழுதும் பயன்படுகின்றன. சாதாரண ராடாரில் அதிகமாகப் பயன்படுகின்ற குறுகியத் துடிப்பு, அதிக உச்சத் திறன் மாக்னெட்ரான்கள், கோள் ராடார் அமைப்புகளில் பயன்படமாட்டா.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Pulse Generator
— *By Glasoe G. N. and Lebacoz J. U.*
Mc Graw Hill Book Co., Newyork.

2. A Radar Investigation of Venus
— *By Pettengill*

3. Design and Performance of a Hign Power Pulsed Klystron — *By Chodorow, M; Ginzton E; Neilson I. and Sonkin S.*

4. Advances in the Techniques and Applications of Very-High-Power Grid-Controlled Tubes
— *By Hoover*

# 30. ஏற்பிகள்

## (Receivers)

ராடார் வானியல் ஏற்பிகள் அமைப்பில் மொத்த இரைச்சல் அநேக மூலங்களிலிருந்து வருகின்றது. இலக்கே, வெப்ப அல்லது வெப்பமற்ற இரைச்சலின் பெரும்பகுதியைக் கொடுக்கலாம். அண்டவெளி ரேடியோ இரைச்சல் அல்லது தனித்தனி மூலங்களிலிருந்து வருகின்ற இரைச்சல் ஆன்டென்னாக் கற்றை மூலமாக அல்லது பக்க 'லோபு'கள் மூலமாகச் சேகரிக்கப்படலாம். அயன மண்டலத்தில் ஏற்படும் மெலிவு அல்லது வளி மண்டலத்தின் கீழ்ப்பகுதிகளில் ஏற்படும் மெலிவு ஆகியவை கூடுதலான இரைச்சலைத் தூண்டும். ஆன்டென்னாவின் தொலைப்பக்க லோபுகள் தரையை நோக்கி நகரும் பொழுது வெப்பக் கதிர்வீசலால் ஏற்படும் இரைச்சலுக்கும் காரணமாகலாம். ஆன்டென்னாவிலும், ஊட்டு அமைப்பிலும் ஏற்படும் இழப்புகள் ஆன்டென்னா முனைகளில் கூடுதலான இரைச்சலை உண்டாக்கும். இறுதியாக, தவிர்க்க முடியாத இரைச்சல் ஏற்பியின் பெருக்கி அமைப்பிலே உற்பத்தியாகின்றது.

இரைச்சலுடன் ஒப்பிடும்பொழுது சைகையின் அளவு அதிகமாக இருக்கும்பொழுதே சைகையை நம் வெற்றிகரமாகப் பகுக்கலாம். இவ்வாறு ராடார் வானியல் அமைப்பில் இரைச்சலை எந்த அளவுக்குக் குறைக்க முடியுமோ அந்த அளவுக்குக் குறைக்க நாம் முயல வேண்டும். ஆன்டென்னாவின் பக்க லோபுகள் மட்டத்தை மிகவும் குறைத்து, தரைக்கதிர் வீசலையும் குறைக்கின்றது. மேலும் வளி மண்டலத்தின் சன்னலுடன் (wind w) பொருந்துமாறு தொழிற்படும் அதிர்வெண்ணைத் தேர்ந்தெடுத்து சிறிதளவாவது வளி மண்டல இரைச்சலைக் குறைக்கலாம்.

இப்பகுதியில் நாம் ஏற்பிகளைப் பற்றியும் அவைகளில் ஏற்படும் இரைச்சல்களைக் குறைக்கும் முறைகளைப் பற்றியும் மட்டும் சுருக்க

மாகப் பார்ப்போம். இரைச்சல்களின் விளைவை ஆராய்வதற்குப் பல உபயோகமான அளவீடுகளைப் பற்றி நாம் தெரிந்து கொள்ள வேண்டும். ஆன்டென்னு ராடார் வானியலில் ஆராயப்பட்டுள்ள சில இலக்குகளின் திசையில் இருக்கும்பொழுது பெறப்படும் இரைச்சல்களைப் பற்றியும் கவனிப்போம். அண்டக் கதிர் வீசலி ளுலும், வளி மண்டல அடுக்குகளின் கதிர் வீசலினுலும் கொடுக்கப்படும் இரைச்சலைப் பற்றியும் சுருக்கமாகத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டும்.

மற்ற எல்லா வகைப் பெருக்கிகளைவிட சாராமாறிப் பெருக்கிகளும், மேசர் பெருக்கிகளும் இரைச்சலை உயர்ந்த முறையில் காட்டுகின்றன. எனவே ஏற்பிப் பெருக்கிகளைப்பற்றி ஆராயும்பொழுது இந்தப் பெருக்கிகளைப் பற்றி மட்டுமே அறிந்து கொண்டால் போதுமானது.

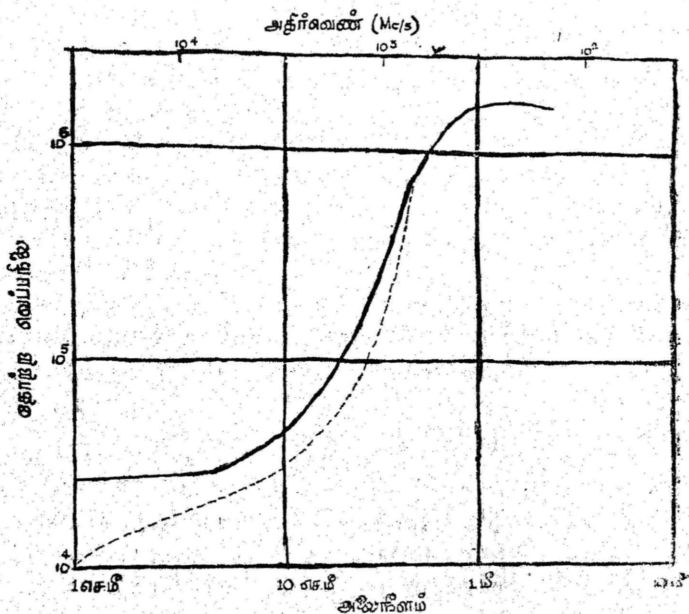
1942-ல் நார்த் என்பவர் இரைச்சலை அளப்பதற்குப் படித்தரங்களைக் கூறினுர். அவை 290°K-ல் உள்ள மூலத்தின் வெப்பநிலையின் அடிப்படையில் இருக்க வேண்டும் என்று கூறினுர். 290°K வெப்பநிலை தேர்தெடுக்கப்பட்டது எதற்கெனில் அந்த வெப்பநிலைதான் ஆய்வுக் கூடங்களின் வெப்பநிலையை ஒத்துள்ளது. மேலும் அந்த வெப்பநிலையை போல்ட்ஸ்மென் மாறிலியால் பெருக்கும்பொழுது எளிதில் நினைவில் வைத்துக் கொள்ளக் கூடிய வேருரு மாறிலி ($4 \times 10^{-21}$ ஜுல்கள்) கிடைக்கிறது. மேசர் பெருக்கிகள் வந்தவுடன், இந்த 290°K-ல் இரைச்சலை அளக்கக் கூடிய முறையும் கைவிடப்பட்டது. இன்னும் உபயோகமான சொல் தேவைப்பட்டதால் *IEEE*, (Institute of Electronics of Electrical Engineering), வெப்பநிலைகள் அல்லது பயனுறு வெப்பநிலைகளின் அடிப்படையில் புதிய இரைச்சல் படித்தரங்களைப் புகுத்தின.

ஓர் அமைப்பு முழுவதும் பங்கீடு செய்யப்பட்டுள்ள இரைச்சல் மூலங்களின் நிகர விளைவுகள், இரைச்சலே இல்லாத அமைப்பின் அகவாய் முனைகளில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரே ஓர் இரைச்சல் மூலத்துடன் ஒப்பிடும் அளவே செயலுறு இரைச்சல் வெப்பநிலை (effective noise temperature) ($T_c$) எனப்படும்

உபரி இரைச்சல் வெப்பநிலை (excess noise temperature) ($T_{ex}$) செயலுறு இரைச்சல் வெப்பநிலையிலிருந்து மாறுபடுகின்றது. உபரி வெப்பநிலை அது எந்த ஒரு தனித்த கூறைக் குறிப்பிடுகிறதோ அந்தக் கூறினுல் தரப்படும் இரைச்சலைக் குறிக்கிறது. ஆனுல் செயலுறு வெப்பநிலை என்பது ஓர் அமைப்பில் உள்ள எல்லா

கூறுகளின் இரைச்சலையும் தகுந்த முறையில் தொகுப்பதால் கிடைப்பதாகும். அதாவது செயலுறு வெப்பநிலை, ஓர் அமைப்பில் உள்ள தனித்தனிக் கூறுகளின் உபரி வெப்பநிலைகளின் கூட்டாகும்.

அமைப்பு இரைச்சல் வெப்பநிலை (system noise temperature) $T_s$ என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட மேற்கோள் புள்ளியில் செயலுறு இரைச்சல் வெப்பநிலை, மூல வெப்பநிலை ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். ஓர் அமைப்பில் மிகச் சிறந்த மேற்கோள் புள்ளியின் இருப்பிடம் குறிப்பிட்ட நிலையைப் பொறுத்தது. பெரும்பாலான இடங்களில் ஆன்டென்னு பரப்பிடைப் புள்ளியையே மேற்கோள் புள்ளியாகக் கொள்ளுவது மிகச் சிறந்ததாகும். இப்புள்ளியின் மூலத்தின் வெப்பநிலை ஏற்பியின் அமைப்பைப் பொறுத்தமையாது.




படம் 30·1.

அலை நீளத்திற்கும் தோற்ற வெப்ப நிலைக்கும் உள்ள தொடர்பு

ராடார் வானியலில் சூரியன், சந்திரன், சில பெரிய கோள்கள், அவைகளின் நிலாக்கள், சில சிறிய கோள்கள் ஆகியவற்றைப் பற்றி ஆராய்கிறேம். இப் பொருள்கள் கணிசமான அளவு

வெப்பக் கதிர்வீசலை அல்லது வெப்பமற்றக் கதிர்வீசலை வெளிவிடு கின்றன. இக் கதிர்வீசல்களினுல் ராடார் ஏற்பியின் மொத்த இரைச்சலின் பெரும் பகுதி தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. சூரியன் சில சமயங்களில் முக்கியமான இரைச்சல் மூலமாக இருக்கலாம். காட்டாக, ஒரு திசை நிலை அண்மையிலும் (interior conjunction) அல்லது ஒரு திசை நிலைச் சேய்மையிலும் (superior conjunction) புதன் அல்லது வெள்ளியை ஆராயும் பொழுது சூரியன் முக்கிய இரைச்சல் மூலமாக இருக்கிறது. படம் 30·1-ல் அலை நீளத்தின் சார்பலனில் சூரியனின் தோற்ற வெப்ப நிலை கொடுக்கப்பட் டுள்ளது. ஒளிப்புரையின் பருமனுக்குச் சமமான ஒரு தட்டு, உண்மையான சூரியன் வீசும் அதே அளவு ஆற்றலைக் கதிர் வீசல் மூலமாக வெளிவிடும் பொழுது அத் தட்டின் பொலிவு வெப்ப நிலை தோற்ற வெப்பநிலை எனப்படும். ரேடியோ சூரியனின் உண்மை யான கோணப் பருமன், 30 நிமிடக் கோணப் பருமனுள்ள வட்டத் தட்டைவிட, சிறிது அதிகமாக இருக்கும் என்பதை முன்பே கூறி ஞேம். நடைமுறையில் ஆன்டென்ஞ வெப்பநிலைக்குச் சூரியனின் பங்கை தோராயமாகப் படம் 30·1-ல் இருந்தும், ஆண்டென்ஞக் கற்றையின் திண்மக் கோணத்தின் பகுதி சூரியத் தட்டில் விழும் அளவைக் கொண்டும் கணக்கிடலாம். சூரியனிலிருந்து வரும் ரேடியோ இரைச்சல் நீண்ட கால, குறுகிய கால மாறுபாடுகளுக்குட் பட்டது என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது. படம் 30·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ள காட்சிப் பதிவுகள் சூரியன் அமைதி நிலையில் இருக்கும் பொழுது மட்டுமே பொருந்தும். சூரியனிலிருந்து வரும் இரைச்சல் மிகவும் அதிகமானதால் அவற்றை அறிவதற்கு மிகவும் முன்னேற்ற மடைந்த குறை இரைச்சல் பெருக்கிகள் எவையும் தேவை யில்லை.

நிலாவிலிருந்து வருகின்ற வெப்பக் கதிர் வீசல் விரிவாக ஆராயப்பட்டது. நிலாவின் மையத்தில் சராசரிப் பொலிவு வெப்ப நிலை அலை நீளத்தைப் பொறுத்து அநேகமாக ஒரு மாறிலியாகும். அதன் மதிப்பு 230°$K$ ஆகும். அலை நீளத்தைப் பொறுத்தும், நிலாவின் கட்டத்தைப் பொறுத்தும், இதிலிருந்து மாறுபட்ட மதிப்புகளும் கிடைக்கலாம். 10 செ. மீ.-க்கு மேற்பட்ட அலை நீளங்களில் கட்ட மாறுபாடு குறைவாக இருக்கும். 3 செ. மீ. அலை நீளத்தில் பொலிவு வெப்ப நிலையின் கட்ட வேறுபாட்டுப் பகுதி ஏறத்தாழ 15° கெல்வின் ஆகும். அது 0·2 செ. மீட்டர் அலை நீளத்தில் 100° $K$-க்கும் அதிகமாகும். நிலாவின் கோணப் பருமனைவிடக் குறுகலாக அதிகப் பயனுறு திறனை உடைய ஆன்டென்ஞக் கற்றைக்கு நிலாவிலிருந்து வெப்பக் கதிர்வீசல் 100° $K$-க்கும் அதிகமாகும்.

ஒரு கோளினால் ஏற்படும் ஆன்டென்ஞ வெப்பநிலை $Ta$

$$Ta = \frac{G}{4\pi} . Tb . \Omega$$

என்ற சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது. இங்கு $G$ என்பது ஆன்டென்ஞ இலாபம்.

$Tb$ – பொலிவு வெப்பநிலை.

$\Omega$ - மூலத்தின் திண்மக் கோணம் (ஸ்டிரேடியன்களில்) அட்டவணை 30·1, சில முக்கியமான கோள்களின் பொலிவு வெப்ப நிலைகளையும், கோண விட்டத்தையும் காட்டுகிறது. இந்த அட்ட வணையிலிருந்து கோள் இலக்குகளால் உண்டாக்கப்படும் ஆன்டென்ஞ வெப்பநிலை அதிக பட்சம் ஒரு சில பத்து டிகிரிகளில் இருக்கும் என்பது தெரிகிறது. இது இப்பொழுது உள்ள சில மிகப் பெரிய ஆன்டென்ஞக்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தும்.

அட்டவணை 30·1.

கோள்களின் பொலிவு வெப்பநிலை

| கோள் | பொலிவு வெப்பநிலை | அலை நீளம் (செ. மீ.) | சராசரி எதிர்த் திசை அல்லது ஒரு திசையில் நடுரைக்கோடு அரைவிட்டம் |
|---|---|---|---|
| புதன் | 300° ± 50°<br>465 ± 115° | 11·3<br>1·53 | 5·45" |
| வெள்ளி | 600°<br>350° — 500° | 3—20<br>0·8—3 | 30·5" |
| செவ்வாய் | 211° ± 20°<br>271° ± 76° | 3·14<br>21·2 | 8·94 |
| வியாழன் | 2600° | 21·5 | 23·43" |
| சனி | 146° ± 23°<br>106° ± 21°<br>196° ± 44° | 1·53<br>3·75<br>10·00 | 9·76" |
| யூரேனஸ் | 180° ± 40° | 11·0 | 1·80" |

**அண்ட இரைச்சலும், வளிமண்டல இரைச்சலும் (Galactic and atmospheric noise)**

அண்ட நடுவரைக் கோடு வழியாகவும், அண்ட மையத்தை நோக்கியும் குவிக்கப்பட்டுள்ள அகன்ற விரவலான பட்டை வழியே காஸ்மிக் ரேடியோ இரைச்சல் மூலங்கள் குவிந்துள்ளன. ஆயிரக்கணக்கான ரேடியோ விண்மீன்கள் இந்தப் பலவீனமான சுற்றுப்புற இரைச்சலின் பின்னணியில் ஆராயப்பட்டுள்ளன. இந்தச் சக்தி வாய்ந்த மூலங்களில் பெரும்பாலானவை சைஜ்னஸ், காஸியோபியா டாரஸ் கூட்டங்களில் காணப்பட்டுள்ளன. ரேடியோ வானத்தின் பல அளவீடுகள் எடுக்கப்பட்டுள்ளன; தொடர்ந்து எடுக்கப்பட்டும் வருகின்றன.

வானத்தின் மிகக் குளிர்ந்த பகுதிகளில் இணைமாற்றுச் சிறும சூழ்நிலை வெப்பநிலை (equivalent minimum background temperature), குறுகிய கற்றை ஆன்டென்னுவைக் கொண்டு அளந்த பொழுது அதிர்வெண்ணின் ஏறத்தாழ மூன்றுவது அடுக்குடன் குறைவதாகத் தோன்றுகிறது. அதாவது, 250 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் $80°K$ ஆகவும், 915 மெகா சுற்றுகள்/விநாடி-ல் $1°K$ ஆகவும் இதன் மதிப்பு அறியப்படுகிறது. மீதியான இரைச்சல் மட்டத்தின் சரியான மதிப்புகளைக் கணக்கிடுவதற்குச் செய்யப் படும் முயற்சிகளில் இரு இடையூறுகள் உள்ளன. (i) *UHF*-ல் இவைகளின் சார்பிலா மதிப்புகள் மிகக் குறைவாகும். (ii) இலக்கு உள்ள திசையைத் தவிர மற்றத் திசைகளிலிருந்தும் வலிமை மிக்கக் கதிர் வீச்சுகள் ஆன்டென்னுவை வந்தடையும். இக் காரணங் களுக்காகச் சோதனைகளில் மிகக் குறுகிய கற்றைகளைப் பயன் படுத்தி அளவீடுகள் துல்லியமாக எடுக்கப்படுகின்றன. அண்டத் தளத்திற்கருகே பெரிய மூலங்களான காஸியோபியா *A*, சைஜ்னஸ் ஆகியவற்றின் வெப்பநிலை அதிர்வெண்ணுடன் ஏறத்தாழ $f^{-2.2}$ என்ற விகிதத்தால் பிணைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். வானம் முழுவதற்கும் சராசரி எடுக்கும்பொழுது இது $f^{-2.5}$-லிருந்து $f^{-3.0}$ மதிப்புகளுக்கு இடையில் இருக்கவேண்டும்.

**மேசர்களும் சாராமாறிப் பெருக்கிகளும் (Masers and Parametric amplifiers)**

சீமன் (Siegman) மேசர் தொழிற்படும் முறையைப் பற்றி 1964-ல் மிக விரிவாகக் கூறினர். மேசரின் தத்துவத்தைக் கீழே சுருக்கமாகக் கூறுவோம்.

**மேசர் (Maser)**

மேசர் என்ற வார்த்தை பத்தாண்டுகளுக்கு முன்பு யாரும் அறியாததொன்றாகும். ("Microwave amplification by stimu-

lated emission of radiation") என்ற ஆங்கில வார்த்தைகளின் முதல் எழுத்துகளைச் சேர்த்து 'மேசர்' என்ற சொல் உருவாக்கப்பட்டது. குவாண்டம் கொள்கையின் (quantum mechanics) அடிப்படையில், தூண்டப்பட்ட வெளிவரு ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி மைக்ரோ அடுக்கங்களில் சைகைகளைப் பெருக்குகின்ற எந்தக் கருவியும் பொதுவாக மேசர் என்றழைக்கப்படுகிறது. தூண்டப்பட்ட கதிர் வீச்சு ஓரியலாக (coherent) அமைந்துள்ளது. வழக்கத்திலுள்ள மைக்ரோ அலைப் பெருக்கிகளோடு ஒப்பிடும் பொழுது மேசர் பெருக்கிகளில் இரைச்சல் மிக மிகக் குறைவாக உள்ளது. ஆற்றல் மட்டங்களில் (energy level) உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் இயல்பான எண்ணிக்கையை மாற்றி ஓரியல் தூண்டப்பட்ட கதிர் வீச்சைப் பெறுகின்ற எந்த முறையையும் மேசர் என்று பொதுவாக அழைக்கலாம்.

மைக்ரோ அலை மேசர் பெருக்கிகள் வெற்றிகரமாக இயங்கிய சிறிது காலத்தில். ஒளி அதிர்வெண்களில் தூண்டப்பட்ட கதிர் வீச்சைப் பயன்படுத்தி இத்தகைய சோதனைகள் செய்யப்பட்டன. இவற்றிலிருந்து ஓரியல் ஒளிக் கதிர்களும் அவற்றைப் பயன்படுத்துகின்ற சாதனங்களும் தோன்றின. இவையும் குவாண்டம் கொள்கையின் அடிப்படையிலேயே இயங்கின. இவற்றிற்கு லேசர் என்று பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. லேசர் என்ற சொல் (Light amplification by stimulated emission of radiation) என்ற வார்த்தைகளின் முதல் எழுத்துகளைச் சேர்த்து உருவாக்கப்பட்டதாகும். லேசர் சில சமயங்களில் ஒளியியல் மேசர் (optical maser) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. மேசர், லேசர் ஆகிய இரண்டுமே பெருக்கிகளாகவும், அலை இயற்றிகளாகவும் பயன்படுகின்றன. இருந்தபோதிலும் மைக்ரோ அதிர்வெண்களில் மேசர்கள் பெருக்கிகளாகவும், ஒளியியல், புறச்சிவப்பு (infra-red) அதிர்வெண்களில் லேசர்கள் அலையியற்றிகளாகவும் பயன்படுகின்றன. 1917-ல் சார்புக் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஐன்ஸ்டினுல் (Einstein's) வருமுன் கூறப்பட்ட தூண்டப்பட்ட கதிர் வீச்சு, மேசர், லேசர்களினுல் மெய்ப்பிக்கப்பட்டது.

அணுக்கள் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களில் இயங்கக் கூடியவை என்பது நாம் அனைவரும் அறிந்ததொன்ருகும். ஓர் அணுவின் கீழ் ஆற்றல் மட்டம், மேல் ஆற்றல் மட்டம் ஆகியவற்றை $E_1$, $E_2$ ஆகியவற்ருல் குறிப்பிட்டால் இந்த இரண்டு மட்டங்களுக்கிடையே நிகழும் பெயர்ச்சியை

$$E_1 - E_2 = h\gamma_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

என்று குறிப்பிடலாம். இங்கு $\gamma_0$ என்பது அதிர்வெண்ணையும் $h$ என்பது பிளாங்கின் (Planck's) மாறிலியையும் குறிக்கும். இந்த விளைவுக்குக் காரணம் ஒரு மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாகும். இருந்த போதிலும் ஐயப்பாட்டுக் கொள்கையின் (uncertainty principle) காரணமாக ஆற்றல் மட்டங்கள் கூர்மையாக (sharp) அமைவதில்லை. எனவே பெயர்ச்சி அடுக்குகளும் ஓரலைத் தன்மை (mono chromatic) உடையதாக இல்லாமல் ஒரு குறுகிய அலைப்பட்டையுடையதாக அமைகிறது.

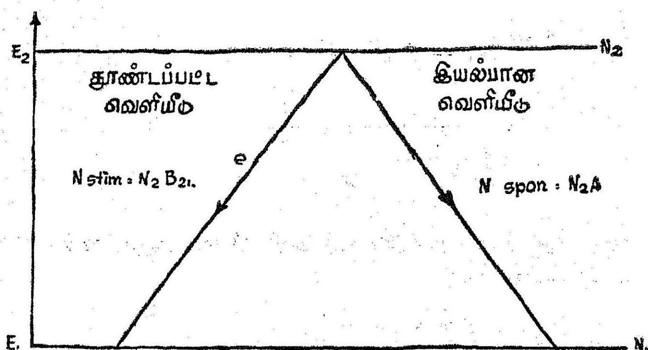
அணுக்கள் வெப்பநிலைச் சமன்பாட்டிலிருந்தால் ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டத்திலுமுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை மாறிலியாக இருக்கும். பிறகு கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து மேல் ஆற்றல் மட்டத்திற்குப் பெயர்ச்சி ஒரு முறையில்தான் நிகழ முடியும். அதாவது படுகதிர்வீச்சுப் புலத்திலிருந்து ஓர் ஆற்றல் ஃபோட்டான் உட்கவரப்படும். ஒத்தியையில் ஒரு வினாடியில் கிளர்ச்சியூட்டப்படுகின்ற அணுக்களின் எண்ணிக்கை. கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை ($N_1$)-க்கும் கதிர் வீச்சுக் செறிவிற்கும் ($\rho$) ஒரு வினாடியில் உட்கவர்தல் நிகழ் திறத்திற்கும் (probability) நேர்விகிதத்திலுள்ளது. இவ்வாறு ஆற்றல் உட்கவரப்படும் முறைக்கு

$$N_A = N_1 \; B_{12} \; \rho \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (2)$$

என்று எழுதலாம். இங்கு $B_{12}$ என்பது நிகழ் திறத்தைக் குறிக்கும். மேல் மட்டத்திலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை வெப்பநிலைச் சமன்பாட்டில் இருக்கக் கூடியதை விட அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே

$$N_{stim} = N_2 \; B_{21} \; \rho \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3)$$

இங்கு $N_2$ என்பது மேல் மட்டத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையும், $B_{21}$ மேல் மட்டத்திலிருந்து கீழ் மட்டத்திற்கு வருவதற்கு நிகழ் திறமும், $\rho$ என்பது கதிர்வீச்சுச் செறிவும் ஆகும். தொடக்கத்திலேயே மேல் மட்டத்திலுள்ள அணுக்கள் கீழ் மட்டத்திற்குக் கதிர் வீச்சு முறையில் இரு விதங்களில் ஆற்றலை வெளிவிட முடியும் (1) தூண்டப்பட்ட முறையில் வெளிவிடுதல் இதில் ஓரியல் கதிரே வெளிவிடப்படுகிறது. (2) தானாகவே வெளிவிடுதல். இதில் மாறியியல் கதிர்கள் (incoherent) வெளிவிடப்படுகின்றன. இரண்டாவது வகை படு மின்காந்த அலைகளின் செறிவைப் பொறுத்து




படம் 30·2.
தூண்டப்பட்டு வெளி விடுதலும் தாகை வெளி விடுதலும்

அமைவதில்லை. எனவே தாமாகவே ஆற்றலை வெளிவிடும் அணுக் களின் எண்ணிக்கை

$$N_{spon} = N_2\ A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

என்ற சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகின்றது. $A$ என்பது தானுகவே ஆற்றலை வெளிவிடப் பெயர்ச்சி நிகழ் திறமாகும். சமன்பாடுகள் (2). (3), (4) ஐச் சேர்க்கும் பொழுது,

$$NA = N_{stim} + N_{spon}$$

ஏனெனில், ஆற்றலை உட்கவர்கின்ற அணுக்களின் எண்ணிக்கை யும், ஆற்றலை வெளிவிடுகின்ற அணுக்களின் எண்ணிக்கையும் வெப்பநிலைச் சமன்பாட்டில் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

$$\therefore \quad N_1\ B_{12}\ \rho = N_2\ B_{21}\ \rho + N_2\ A \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

கீழ் மட்டத்திலிருந்து மேல் மட்டத்திற்குச் செல்வதும், மேல் மட்டத்திலிருந்து கீழ்மட்டத்திற்கு வருவதும் சம அளவில் நிகழக் கூடியவை யாதலால்,

$$B_{12} = B_{21} = B \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\therefore \quad N_1\ B\rho = N_2\ B\rho + N_2\ A$$

$$\rho\ (N_1 - N_2)\ B = N_2\ A$$

$$\rho = \frac{N_2}{N_1 - N_2} \cdot \frac{A}{B}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{N_1}{N_2} - 1\right)} \cdot \frac{A}{B} \quad \dots \quad (7)$$

பிளாங்கின் கதிர்வீச்சு விதிப்படி, கதிர்வீச்சு ஆற்றலின் செறிவு ($\gamma$) அதிர்வெண்ணில்,

$$\rho(\gamma) = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\gamma}{KT}} - 1} \quad \dots \quad \dots \quad (8)$$

இங்கு, $\lambda = \frac{C}{\gamma}$ ஆகும்.

$K$ என்பது போல்ட்ஸ்மேனின் மாறிலியாகும்.

ஆனால் அணுக்கள் வெப்பச் சமநிலையிலுள்ளன. மேல் மட்டத்திற்கும் கீழ் மட்டத்திற்குமிடையே அணுக்களின் பங்கீடு மாக்ஸ்வெல் போல்ட்ஸ்மேனின் புள்ளியியல் (statisties) விதியில் அமைந்துள்ளது. எனவே $T°$ வெப்பநிலையில் வெப்பநிலைச் சமன்பாட்டில்

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{\frac{-h\gamma}{KT}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

ஆகும். மேசர் லேசர் தொழிற்படு முறையை அறிந்து கொள்வதில் சமன்பாடு (9) மிக மிக முக்கியமாகும்.

சமன்பாடு (9) ஐச் சமன்பாடு (7)-ல் போட்டால்

$$\rho = \frac{1}{e^{\left(\frac{h\gamma}{KT}\right)} - 1} \cdot \frac{A}{B} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

ஆகும்.

(8). (10) ஆகியவற்றில் குறைஸ்கங்களை ஒப்பிடும்பொழுது,

$$\frac{A}{B} = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (11)$$

இங்கு $A$—தானகவே ஆற்றலை வெளிவிடுதலுக்குப் பெயர்ச்சி நிகழ் திறமாகும்,

$B$—தூண்டப்பட்டு ஆற்றலை வெளிவிடுதலுக்குப் பெயர்ச்சி நிகழ் திறமாகும்.

சமன்பாடு (11) தானகவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றலுக்கும் தூண்டப்பட்டு வெளிவிடப்படும் ஆற்றலுக்கும் உள்ள தகவு கதிர்வீசலின் அலை நீளத்தின் மும்மடிக்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது என்பதைக் காட்டுகின்றது. மேலும் $h = 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ எர்க்குகள்/வினடி-ஆகுர். மைக்ரோ அலை வரிசையில் $\lambda \sim 1$ சென்டி மீட்டரானதால் தானகவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் தூண்டப்படும் ஆற்றலுடன் ஒப்பிடப்படும்பொழுது மிகமிகக் குறைவாகும். அதாவது $\lambda \sim 5000^{\circ} A$, ஆகவே தானகவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றலால் உண்டாகும் இரைச்சல் ஏறக்குறைய $10^{13}$ பங்கு அதிகரிக்கின்றது. $A$ என்ற குணகத்தின் மதிப்பு

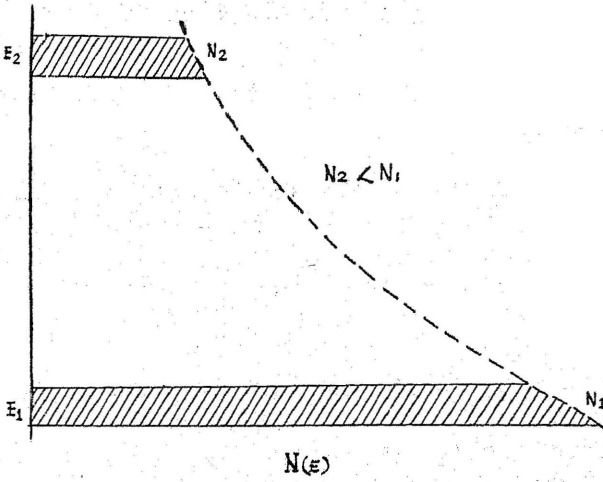
$$A = \frac{64\,\pi^4}{3h\,\lambda^3}\left|\mu^2\right| \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (12)$$

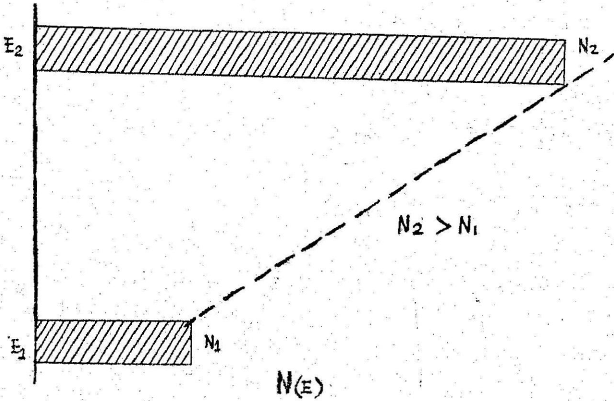
என்ற சமன்பாட்டினல் பெறப்படுகின்றது. இங்கு $\mu^2$ என்பது பெயர்ச்சியின் அணியின் (matrix) இருமடியாகும்.

$$\text{இவ்வாறே } B = \frac{8\pi^3}{3h^2}\left|\mu^2\right| \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (13)$$

ஒரு மேசர் பெருக்கியில் தானகவே வெளிவிடப்படும் ஆற்றல், இரைச்சலைக் குறிக்கின்றது. $N_2$, $A$ ஆகியவற்றல் தீர்மானிக்கப் படுகின்றது. (சமன்பாடு நான்கைப் பார்க்க.) ஆனல் $N_{stim}$ என்பது $\rho$, $N_2$ ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது. (சமன்பாடு மூன்றைப் பார்க்க.) ஆனல் எப்பொழுதும் வெப்பநிலைச் சமன் பாட்டில் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் $N_2$ ஆனது $N$ ஐ விடக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆகவே ஒரு மேசர் தொழிற்படுவதற்கு, சைகை மட்டங்களுக்கிடையே எலெக்ட்ரான்களின் செறிவு மாற்றப் படவேண்டும். அதாவது $N_2$-ன் மதிப்பு $N_1$-ன் மதிப்பைவிட அதிகரிக்கப்பட வேண்டும். இந்த முறைக்குப் பெயர் செறிவுப் புரட்டு (population inversion) என்பது ஆகும்.

ஒரு மேசரில் சைகைக்கும் இரைச்சலுக்கும் உள்ள தகவு தூண்டப்பட்டு வெளிவருகின்ற ஆற்றலுக்கும், தானகவே வெளி வரும் ஆற்றலுக்கும் உள்ள தகவினல் பெறப்படும் என்று



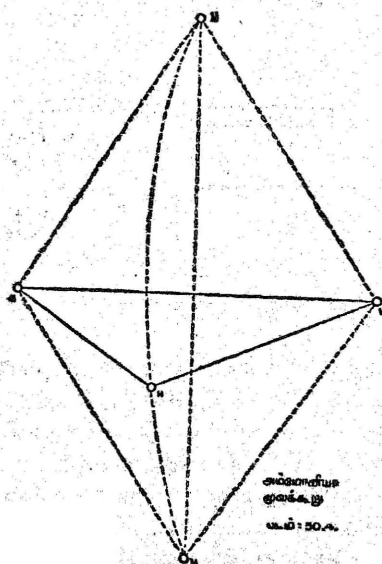

**படம் 30·3.**

இரு மட்டங்களில் எலெக்ட்ரான்களின் அடர்த்தி

முன்னமேயே கூறினோம். அணுக்களின் தொகுதியை ஓர் ஒத்ததிர்வி (resonator)யில் வைப்பதாலும், கதிர் வீச்சுப் புலத்தின் செறிவை அதிகரிப்பதாலும் இரைச்சல் பெருக்கத்தைக் குறைக்கலாம். $N_{stin}/N_{spon}$ என்பது அமைப்பின் வெப்பநிலையை நேரடியாகப் பொறுத்ததல்ல. அதாவது இரைச்சல்களின் வெப்பநிலை அணுக்களின் உண்மையான வெப்பநிலையைவிட மிகமிகக் குறை

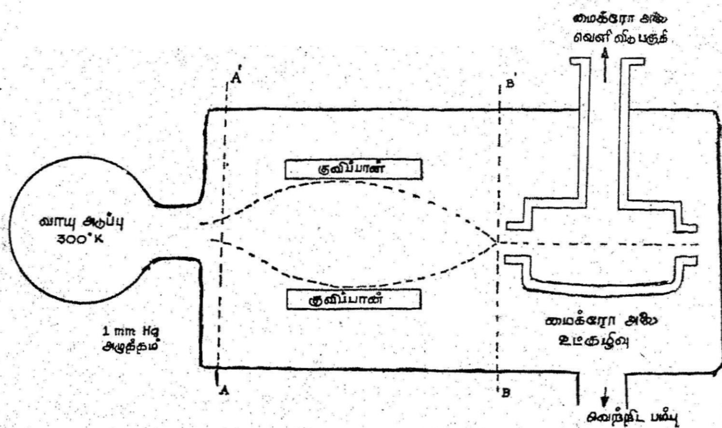
வாக இருக்குமாறு பெருக்கிகளை அமைக்கமுடியும். சமன்பாடு (11)-ல் $\frac{A}{B} \propto \frac{1}{\lambda^3}$ ஒளியியல் அலை நீளங்களில் தானாகவே வெளிவரும் ஆற்றல், தூண்டப்பட்டு வெளிவரும் ஆற்றலைவிட மைக்ரோ அலை நீளங்களில் இருப்பதைவிட அதிகமாகும். இவ்வாறு மைக்ரோ அலை நீளப்பகுதியில் மேசர்கள் பெருக்கிகளாகவும், ஒளியியல் பகுதியில் லேசர்கள் அலைவியற்றிகளாகவும் உபயோகப் படுத்தப்படுகின்றன.

மேலே சொல்லப்பட்ட கோட்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி அமோனியா ($NH_3$) மேசர் முதன் முதலில் வெற்றிகரமாகச் செய்யப்பட்டது. இவற்றில் ஆற்றல் மட்டங்கள் அமோனியா மூலக் கூறின் (ammonia molecule) அதிர்வு நிலைகள் (vibrational states) ஆகும். அமோனியாவிலுள்ள மூன்று ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று மூலைகளிலுள்ளன. நைட்ரஜன் அணு மூன்று ஹைட்ரஜன் அணுக்களுமுள்ள தளத்திற்குச் செங்குத்தான கோட்டைப் பொறுத்து அதிர்வுறும். இவ்வாறு நைட்ரஜன் அணு இருப்பிடம் ஒன்றிலோ அல்லது இருப்பிடம் இரண்டிலோ இருக்க முடியும்.



படம் 30·4.

மேலே சொல்லப்பட்ட இருநிலைகளுக்கிடையே நைட்ரஜன் அணு அலைவுறும்பொழுது ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் சுழலுவதாகக் கொள்ளலாம். இந்த இரண்டு இயலமைப்புகளும் (structure) மூலக்கூறின் ஒரே ஆற்றல் மட்டத்தைச் சரியாகக் குறிப்பிடமாட்டா. ஏனெனில் ஹைட்ரஜன், நைட்ரஜன் அணுக்களின் அலையணிக் கோவைகள் (wave functions) முழுவதும் சமச்சீருடையனவாக இருப்பதில்லை. இவ்வாறு மூலக்கூறு இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களில் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். 23·87 *KMc/s* மைக்ரோ அடுக்கம் வித்தியாசமுள்ள இருநிலைகள் மேசர் தொழிற்படுவதற்கு உகந்தனவாகும். இந்த நிலைகளில் தான் செறிவு மிகுந்த அதிர்வு இடப்பெயர்ச்சி நிகழ்கின்றது. இதனால் ஏற்படுகின்ற ஒத்தியைவுக் கோடு மிகக் குறுகிய பட்டையகலத்தையுடையதாக இருக்கின்றது. அமோனியா மேசரின் அமைப்புத் தொகுப்பு, படம் 30·5 -ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.




**படம் 30·5.**

அமோனியா மேசரின் தொகுப்புப் படம்

ஓர் அமோனிய மூலக்கூறு கற்றை ஒரு வாயு அடுப்பிலிருந்து (gas oven) ஒரு துளை வழியே வெளிவருகின்றது. இந்த அடுப்பின் வெப்ப நிலையைத் துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்தலாம். இந்தக் கற்றையில் மேல் ஆற்றல் மட்டம், கீழ் ஆற்றல் மட்டம் ஆகிய இரு மட்டங்களிலும் மூலக்கூறுகள் இருக்கும். இந்தக் கற்றை ஒரு நிலை மின் பிரிப்பானுக் (electrostatic seperator) கிடையே செல்லுகின்றது. இந்த இரு ஆற்றல் மட்டங்களிலுமுள்ள மூலக்கூறுகளும் ஒரு சீரிலா மின் புலத்தினால் (non-uniform electric field) பிரிக்கப்படு

கின்றன. ஏனெனில் இந்த மூலக்கூறுகளின் நான்முனைவுத் திருப்புத் திறன் (quadrapole moments) மேல், கீழ் ஆற்றல் மட்டங்களில் வெவ் வேறாக அமைந்துள்ளன. இதனால் இரண்டு வகைப்பட்ட மூலக் கூறுகளிலும் விலக்கங்கள் வெவ்வேறாகி அவை தனித்தனிக் கற்றைகளாக மாற்றப்படுகின்றன. மேல் மட்ட மூலக்கூறுகள் சாதனத்தின் அச்சின் வழியாகச் செல்லுகின்றன. கீழ்மட்ட மூலக் கூறுகள் பக்கவாட்டில் தப்பிச் செல்லுகின்றன. மேல் மட்ட மூலக்கூறுகள் ஒரு சிறந்த கற்றையாகக் குவிக்கப் படுகின்றன. இவ்வாறு தளங்கள் $AA'$, $BB'$ ஆகியவற்றிற்கிடையே மூலக்கூறுகளைப் பிரிப்பதன் மூலம் செறிவுப் புரட்டு பெறப்படு கின்றது. $BB'$ என்ற தளத்தில் பெரும்பாலும் மேல் மட்டத்தி லுள்ள மூலக் கூறுகளே அமைந்துள்ளன. இந்த மூலக் கூறுகள் பிறகு மைக்ரோ அலை, ஒத்ததிர்வு உட்குழிவிற்குள் செல்லுகின்றன. இந்த உட்குழிவின் ஒத்ததிர்வு அதிர்வெண் அமோனியாவின் ஆலைவுறு பெயர்ச்சியின் அதிர்வெண்ணான 23·87 $KMc/Sec$-க்குச் சமமாக இருக்கும்படி மிகக் கவனமாகச் சரி செய்யப்படுகிறது. உட்குழிவு மிக அதிகமான $Q$-கூற்றெண்ணைப் பெற்றிருப்பதால், மேல்மட்ட மூலக் கூறுகளிலிருந்து ஆற்றல் வெளிவிடப்படுவதை தூண்டுவிப்பதற்கான திறனை அது பெற்றுள்ளது. இதனால் அணுக்கள் மேல் மட்டத்திலிருந்து கீழ் மட்டத்திற்கு வந்து உட்குழிவை விட்டு வெளியேறுகின்றன. வெளிவரு ஆற்றல் உட்குழிவுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள அலை வழிப்படுத்தி (wave guides) வாயிலாகப் பெறப்படுகின்றது.

அலைவுகள் தொடர்ந்து நிகழ்வதற்குத் தூண்டப்பட்ட கதிர் வீச்சாகக் கற்றையிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட திறன் உட்குழிவில் கவரப்பட்ட திறனுக்குச் சமமாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ இருக்க வேண்டும்.

கற்றையால் கொடுக்கப்பட்டத் திறன்

$$P = Nh\gamma_0 \, |a|^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

இங்கு.

$N$ = ஒரு வினாடியில் உட்குழிவையடையும் மேல்மட்ட மூலக் கூறுகள்.

$\gamma_0$ = அமோனியா பெயர்ச்சியின் அதிர்வெண்.

$|a|^2$ = ஒரு மேல் மட்ட மூலக் கூறு கீழ் மட்டத்திற்கு வருவதற்குப் பெயர்ச்சி நிகழ் திறமாகும்.

உட் குழியில் உட் கவர்வதால் ஏற்பட்ட ஆற்றல் இழப்பு

$$P_L = \frac{\omega_0 W}{Q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

இங்கு,

$Q$ = உட்குழுவின் கூற்றெண்.

$W$ = உட்குழுவில் சேகரிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல்.

$\omega_0 = 2\pi\gamma_0$.

பிறகு, அலைவு தொடர்ந்து நிகழ்வதற்கு,

$$Nh\gamma_0 \mid a \mid^2 = \frac{\omega_0 W}{Q} \text{ ஆகும்.} \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

அமோனியா மேசர் ஒரு குறுகிய பட்டை அலைவியற்றியாகத் தொழிற்படுதற்கு உகந்தது. இது சில நேரங்களில் பெருக்கியாகப் பயன்பட்ட போதிலும், அவ்வளவு சிறந்த மைக்ரோ அலைப் பெருக்கியாகத் தொழிற்படுவதில்லை. வேறு பலதரப்பட்ட மேசர்களும் உபயோகத்திற்கு வந்துள்ளன. அவற்றிற்குத் தொடர் அலைத் திண்மை மேசர்கள் (continuous wave solid masers) என்பது பெயர்.

அவையாவன :

(1) மூன்றடுக்கு உட்குழிவு மேசர்கள் (Three level cavity masers).

(2) தள்ளு இழு மேசர்கள் (Push-pull masers).

(3) சுழிப்புல மேசர்கள் (Zero field masers)

(4) எதிரொளிப்பு உட்குழிவு மேசர்கள் (Reflection cavity masers).

(5) நகரும் அலை மேசர்கள் (Travelling wave masers).

மேலே கூறப்பட்டவைகளில் நகரும் அலை மேசர்கள் ராடார் வானியலில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இங்கு மேசர் படிகம் ஒரு மைக்ரோ அலை பரவும் அமைப்பின் வழியே பங்கீடு செய்யப்பட்டுள்ளது. சைகை அந்த வழி காட்டியில் செல்லும் பொழுது பெருக்கப்படுகிறது. அலை வழிகாட்டியின் ஒரு பகுதியில் ஆற்றல்

அடர்த்தி $E$ ஆகவும் குழுத் திசை வேகம் $v_g$ ஆகவும் இருந்தால், பிறகு திறன் ஓட்டம் $P$.

$$P = v_g EA \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

என்ற சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது. இங்கு $A$ என்பது குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பாகும். ஆனல் படிகத்தால் ஓரலகுப் பரப்பில் உண்டாக்கப்பட்ட திறன்,

$$\frac{dp}{dv} = \frac{2\pi\gamma_0 E}{|Q|} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

முழுப் பரப்பிற்குத் தொகுனியாக்கம் செய்து ஓரலகுப் பரப்பிற்குச் செயலுறு கூற்றெண்ணை $Q_{eff}$ என்று கொண்டால், அலைவழி காட்டியில் ஓரலகு தூரத்திற்கு ஆற்றல் இலாபம்,

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2\pi\gamma_0 P}{v_g (Q_{eff})} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

இச் சமன்பாட்டிற்குத் தீர்வு (solution)

$$P = P_0 \, exp\left(\frac{2\pi\gamma_0 x}{v_g \, | \, Q_{eff} \, |}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

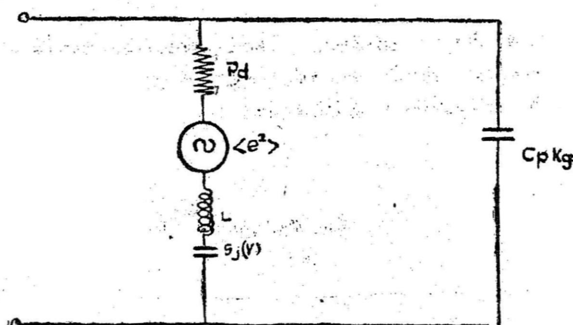
இவ்வாறு இலாபம் தூரத்தின் அடுக்குக் குறி (exponential) சார்பலனுக அமைகிறது. அது படிகத்தின் முழு அலை வழிகாட்டி தூரத்திலும் கிடைக்கிறது. இம் முறையில் $v_g$ என்பது ஒளியின் திசை வேகத்தை விட மிக மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். இல்லையேல் மிகப் பெரிய அமைப்புகள் தேவைப்படும். இயங்கு அலைக் குழாய்களில் பயன்படுவது போன்ற காலவட்ட ஒழுங்குடைய மெது-அலை வழி காட்டியை உபயோகித்து, அலைத் திசை வேகத்தைக் குறைக்கலாம். $Q$ ஐப் பொறுத்த இலாபத்தின் அடுக்குக் குறி மாறுபாடு, அமைப்பு அலைவுறுதலால் மேசரை நிலைத் தன்மையில் வைத்திருக்கும். மேலும் படிகத்தின் ஜைரோக் காந்தப் பண்புகள் அலை வழிகாட்டியில் ஒரு திசை விளைவைக் கொடுக்கின்றன. ஃபெர்ரைட் (Ferrite) பொருட்களைச் சேர்த்து இலாபம் குறையாமல் பாதுகாக்கலாம்.

**வேரக்டார் டயோடு சாராமாறிப் பெருக்கிகள்** (Varactor diode parametric amplifiers)

சாராமாறிப் பெருக்கிகளில் மிக முக்கியமான பகுதி ஓர் ஏக பரிமாணம் அல்லாத (non-linear), குறைந்த, இழப்புடைய, மாறுகின்ற மின் மறுப்புக் (reactance) கூறுகும். நடைமுறைப் பெருக்கிகளில் இது ஒரு குறைக் கடத்தி (semi-conductor) டயோடாகும். இதற்குப் பெயர் வேரக்டார் ஆகும். இதனுடைய மின் தேக்குத் திறன் கொடுக்கப்பட்ட திருப்பு நூர்பு மின்னழுத்தத்தின் (reverse bias voltage) சார்பலனாகும். சாராமாறிப் பெருக்கிகளின் அமைப்பில் பல விதங்கள் உள்ளன. அவை மிக எளிய மீண்டும் ஆற்றலைக் கொடுக்கும் கருவியிலிருந்து மிகச் சிக்கலான பல் அதிர்வெண் மேல்-மாற்றிகள் வரை (multi frequency up-converter) உள்ளனவாகும். அவைகள் அறை வெப்ப நிலையில் இயங்கும் பொழுது மேசரை விடச் சிறந்தனவாகும். அவைகளில் உள்ள இரைச்சல் பெரும்பாலும் வெப்ப இரைச்சல் அல்லது ஜான்சன் இரைச்சலாகும். இதை, வேரக்டர் டயோடைக் குளிர்வித்துக் குறைக்கலாம். சாராமாறிப் பெருக்கிகளில் செயலுறு இரைச்சல் வெப்பநிலைகள் மைக்ரோ அலைப்பட்டைகளில் 10 முதல் 35° *K* வரை அறியப்பட்டுள்ளன. வேரக்டார் டயோடு சாராமாறிப் பெருக்கியிலும் கலக்கிப் பிரித்தல் முறையில் இயங்கும் மைக்ரோ அலை ஏற்பியில் உள்ள ஒரு சாதாரண மின் தடை கலப்பியைப் போல இந்தப் பெருக்கி இயங்குகிறது.

இப்பொழுது, 16 *Gc/s*-ல் இயங்குகின்ற வேரக்டார் டயோடு சாராமாறிப் பெருக்கிகள் அதிக அளவில் கிடைக்கின்றன. சில பெருக்கிகள் 35 *Gc/s* வினாடி-ல் இயங்கக் கூடியனவாக உள்ளன. எளிய வேரக்டார் டயோடு பெருக்கிகளில் இலாபப் பட்டை அகலப் பெருக்கற் பலன்கள் 100-லிருந்து 1000 மெகா சுற்றுகள்/வினாடி வரை மாறுகின்றன. ஒரு கொடுக்கப்பட்ட சுற்றில் இலாப-பட்டை அகலப் பெருக்கற் பலன் ஒரு மாறிலியாகும். எனவே இலாபம் சிறிதளவு குறையும் பொழுது பட்டை அளவு கணிசமான அளவு அதிகரிக்கின்றது. பல குறை இலாப (low gain) குறை இரைச்சல் (low noise) தொகுதிகளைத் தொடர்பாக இணைத்து, அதிகமான பட்டை அகலங்களில் சிறந்த முறையால் இயங்கும் பெருக்கிகளைப் பெறலாம். படம் 30·6-ல் ஒரு வேரக்டார் டயோடின் சுற்றமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு வேரக்டார் டயோடு சந்திப்பின் ஏக பரிமாணமில்லாத மின்னிறக்குத் திறன் $S_j(v)$ (அதாவது : மின் தேக்குத் திறனின்




படம் 30·6.

வேரக்டார் டயோடின் சுற்றமைப்பு

தலைகீழ் மதிப்பு) கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டினுல் ஏறத்தாழப் பெறப் படுகின்றது.

$$S_j(V) \equiv \frac{\partial v}{\partial q} = S_j(0)\left(1 + \frac{V}{Q}\right)^n \quad \ldots \quad (21)$$

இங்கு $S_j(V)$ — டயோடு சந்திப்பின் மின்னிறக்குத் திறன்.

$S_j(0)$ — தூர்பு அழுத்தமற்ற சந்திப்பின் மின்னிறக்குத் திறன்.

$Q$ — தொடுகை மின்னழுத்தம் (contact potential)

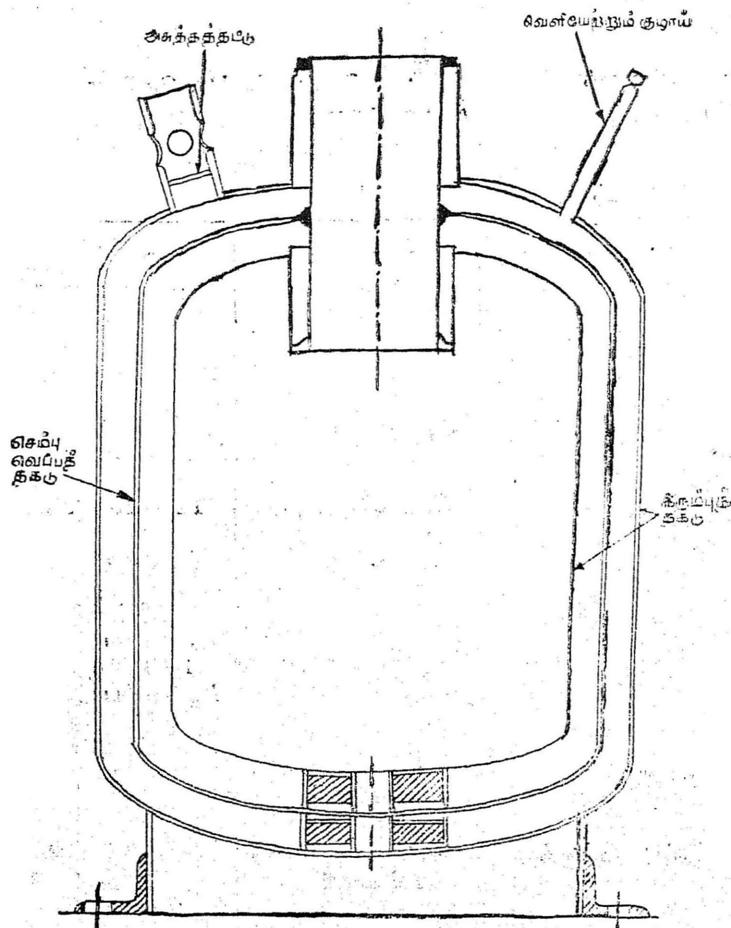
$n$ — ஒரு மாறிலி. இதன் மதிப்பு பொதுவாக $\frac{1}{3}$-க்கும் $\frac{1}{2}$-க்கும் இடைப்பட்டது.

மேசர் அல்லது சாராமாறிப் பெருக்கலில் தொழில் நுட்பம் வாய்ந்த முறைகள் கையாளப்பட்டன. மைக்ரோ அலைப்பகுதிகளைத் திறமையாகக் கையாளுவதுடன் இதில் பயன்படுத்தப்படும் பொருள்களும் அவை அமைக்கப்பட்டுள்ள விதங்களும் மிகக் குறைந்த வெப்ப நிலைகளில் இயங்கக் கூடியனவாகவும், அலை வழி காட்டியைத் திரவ ஹீலியமோ (liquid helium), மற்ற அசுத்தங்களோ பாதிப்பதைத் தடுப்பனவாகவும் அமைய வேண்டும். இத்தகைய பெருக்கிகள் ஹேய்ஸ்டேக் ராடாரில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. அட்டவணை 30·2, இந்தப் பெருக்கிகளின் பண்புகளைத் தொகுத்துக் கூறுகிறது. மேசர் பெருக்கியைத் திரவ ஹீலியம் வெப்பநிலையில் மட்டும் தான் இயக்க முடியும். ஆனுல் சாராமாறிப்

பெருக்கியைத் திரவ ஹீலிய வெப்பநிலைக்கு மேலோ அல்லது கீழோ, அதாவது திரவ ஹைட்ரஜன் வெப்ப நிலையிலோ அல்லது அறை வெப்ப நிலையிலோ இயக்க முடியும்.

| | இயங்கு அலை மேசர் | மீண்டும் கொடுக்கும் சாரமாறிகள் |
|---|---|---|
| அமைப்பு அதிர்வெண் | 7840 *Mc/s* | 8350 *Mc/s* |
| இயைவிக்கக் கூடிய பகுதி | 2000 *Mc/s* | 7750—8·350 *Mc/s* |
| பட்டை அகலம் | 30 *Mc/s* | 15—20 *Mc/s* |
| இலாபம் | 40 *db* | 26 *db* |
| உபரி வெப்பநிலை | 7 ± 3° *K* | 40°*K* (திரவ $H_e$ வெப்ப நிலையில்) 190°*K* (திரவ $N_2$ வெப்ப நிலையில்) 260°*K* (அறை வெப்ப நிலையில்) |
| தெவிட்டிய மட்டம் | —65 *dbm* | |
| *He* நிரப்புதலுக்குத் தேவையான இடைவேளை | 12 மணி | 8 மணி |
| பம்ப்பு : | | |
| அதிர்வெண் | 20,650 *Mc/s* | 23500 — 24000 *Mc/s* |
| திறன் | 80 *mw* | 100 *mw* |
| நிலைத்தன்மை ஏற்பாடு | கிளைஸ்ட்ரான் | கிளைஸ்ட்ரான் |

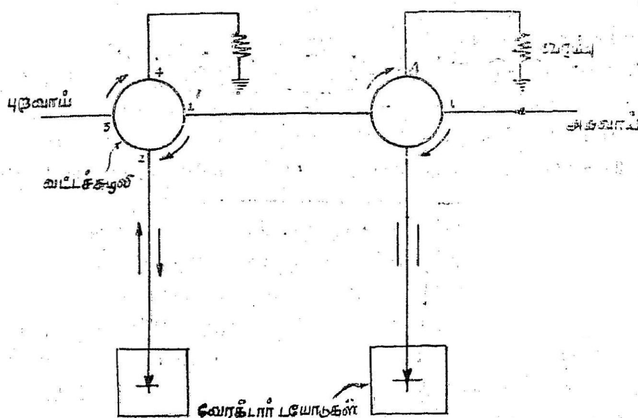
சாராமாறிப் பெருக்கி, சாதாரணமாக ஒரு தீவார் குடுவையில் வைக்கப்படுகிறது. இக்குடுவையின் குறுக்கு வெட்டு, படம் 30·7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 30·7.
*தீவார் குடுவையின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம்*

குடுவையின் கழுத்துப் பகுதியான உருளை வடிவமான குழாயில் பெருக்கியானது வைக்கப்பட்டுள்ளது. குடுவையிலிருந்து பெருக்கியைத் தனியே எடுத்தால் அது படம் 30·8-ல் உள்ளது போல் இருக்கும்.

சாராம்ராறிப் பெருக்கியில் இரு பகுதிகள் இணைக்கப்பட்டுள்ள விதம் சுருக்கமாகக் கூறின் இந்த அமைப்பில் இரு பெருக்கிகள் தொடர் முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. முதல் பெருக்கி *15db* இலாபத்திலும் இயங்குகின்றன. இந்தப் பெருக்கிகள் இணைக்கப்பட்டுள்ள விதத்தையே படம் 30·8 காட்டுகின்றது.




படம் 30·8.

சாரமாரிப் பெருக்கியில் இரு பகுதிகள் இணைக்கப்பட்டுள்ள விதம்

அட்டவணை 30·3.

| ஆய்வுக் கூடம் | அதிர் வெண் *Mc/Sec* | பெருக்கியின் வகை | அமைப்பு வெப்பநிலை | எதிர் பார்க்கப் படும் வான வெப்பநிலை |
|---|---|---|---|---|
| ஆர்சிபோ | 430 | சாராமாறி | 120°*K* | 20—300°*K* |
| ஜோட்ரல் பாங்க் | 408 | சாராமாறி | 200°*K* | 20—300°*K* |
| கிரிமியன், USSR | 700 | மேசரும் சாராமாறியும் | 100°*K* | 5—100°*K* |
| மில்ஸ்டோன், MIT | 1295 | சாராமாறி | 100°*K* | 3—25°*K* |
| கோல்டுஸ்டோன், JPL | 2388 | மேசரும் சாராமாறியும் | 30°*K* | 3—6°*K* |
| ஹேய்ஸ்டேக், MIT | 7780 | குவிக்கப்பட்ட சாராமாறி மேசர் | 100°*K* 50°*K* | 4°*K* |

மேசர்களும் சாராமாறிப் பெருக்கிகளும் தற்பொழுது ராடார் வானியலில் பெருமளவு பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவைகளில் 400 மெகா சுற்று/வினுடி-க்குக் கீழ் இயங்குகின்றவை மட்டும் ராடார் சோதனைகளில் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை. அட்டவணை 30·3, இத்தகைய அமைப்புகளின் பண்பியல்புகளைக் காட்டுகிறது.

ருஷ்ய நாட்டு ஆய்வுக் கூடம், JPL ஆய்வுக்கூடம் ஆகியவற்றில் செய்யப்பட்ட சோதனைகளில் சாராமாறிப் பெருக்கிகளுடன் கூட ஒரு மேசரும் இரண்டாம் நிலை பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப்பட்டது. ஆனால் ஹேய்ஸ்டேக் அமைப்பில் ஹீலியத்தால் குளிர்விக்கப்பட்ட ஒரு சாராமாறிப் பெருக்கி பயன்படுத்தப்படுகிறது. அட்டவணையில் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பு வெப்ப நிலைகள் ஆன்டென்னு வளிமண்டல இடைப் பரப்பில் அளக்கப்பட்டவை. மேசரின் தொழிற்படு முறையிலிருந்தும் ஆன்டென்னு ஊட்டமைப்பு ஆகியவைகளின் தன்மையிலிருந்தும் ஹேய்ஸ்டேக் சோதனையில் அமைப்பு வெப்பநிலை கணக்கிடப்பட்டது. அட்டவணையின் கடைசிப் பத்தியில் எதிர்பார்க்கப்படும் வானிலை வெப்பநிலைகள் தொகுத்துக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. உண்மையில் இந்த வெப்ப நிலையின் மதிப்பு அண்டத்தில் இலக்கின் இருப்பிடத்தைப் பொறுத்து மாறும். எல்லா முதன்மை அமைப்புகளிலும் இரைச்சல் மேசரிலே உண்டாவதில்லை. ஆனால் இந்த ஊட்டமைப்புகளில் உள்ள ஆற்றல் இழப்பே இரைச்சல்களுக்குக் காரணமாக அமைகின்றன.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்

1. Varactor Applications
— *By Penfield. P; Jr. and Rafuse R. P.*

2. Microwave Solid State Masers — *By Siegman A. E.*

3. Varactor Diode Amplifier at Liquid Helium
— *By Fink; Hason D. C. and Venohara M.*

4. Paramagnetic Amplifier for Planetary Radar
— *By Zhabotinsky M. YE; and Frantsesson A. V.*

# 31. பண்பேற்றம், பகுத்தல், காட்சிப் பதிவுகளின் விவரங்களை ஆராய்தல்

**(Modulation, Demodulation and Data Processing)**

சென்ற பகுதியில், ராடார் வானியல் அமைப்புகளின் திட்டத்தைப் பற்றியும், முக்கியப் பகுதிகளின் தன்மையைப் பற்றியும் கூறினோம். ஆன்டென்னா, பரப்பி போன்ற பகுதிகளால் ராடாரின் தொழிற்படும் திறமை நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இங்குப் பெறப்பட்ட சைகைகளை எவ்விதம் பண்பேற்றுவது, பண்பிறக்குவது என்பனவற்றைப் பற்றிச் சுருக்கமாகக் கூறுவோம். இதன் ஒரு பகுதியாக, குறியீட்டு அலை வடிவங்களையும் (coded wave forms) துடிப்பு அமுக்கத் திட்டங்களையும் (pulse compression schemes) பற்றி ஆராய்வோம். மேலும், சைகையிலிருந்து எதிரொளிப்புகளுக்கும் தாமத நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பையோ அல்லது எதிரொளிப்பிற்கும் அதிர்வெண்ணிற்கும் உள்ள தொடர்பையோ எவ்வாறு நிர்ணயிப்பது என்பதையும் ஆராயலாம்.

நடைமுறையில் இரண்டு தொடர்கள் உபயோகத்தில் உள்ளன. அவை, (1) துடிப்புத் தொகுத்தல் (pulse coding), (2) துடிப்பு அமுக்கம் (pulse compression). இவற்றில் துடிப்புத் தொகுத்தல் என்பது ஆராய்ச்சியாளருக்கும் இலக்குக்கும் இடையே செல்லும் அனைத்துத் துடிப்புகளையும், அவற்றை எண்ணுதற்கேற்பத் தொகுப்பதாகும். இம்முறையில் தொலைவை அறிவதானது, தனிப்பட்ட துடிப்புகளால் பெறப்பட்ட தொலைவுகளின் அளவையே குறிக்கும். தங்குதடையின்றி ஓர் அலை வடிவச் சைகை பரவும் வகையில் துடிப்புகளின் எண்ணிக்கையை எவ்வளவு வேண்டுமானாலும் வைத்துக் கொள்ளலாம். இவ்விதம் செய்யும்பொழுது ஒரு புள்ளி இலக்கிற்குப் பெறப்பட்ட தொலைவுப் பகுதிறன் பரப்பப்பட்ட அலை வடிவத்தின் தற்றொடர்பாக்கச்

சார்பலனுகும் (auto correlation function). இத்தகைய பரவுதலைப் பண்பிறக்கம் செய்வதற்கு, பரப்பப்பட்ட அலை வடிவத்தின் சரியான மாதிரியோடு (replica), பெறப்பட்ட சைகைகளைக் குறுக்கு முறையில் ஒட்டுறவு (cross correlation) செய்யவேண்டும்.

1959-ல் பிரைஸ் (Price) என்பவர் வெள்ளியின் தொலைவை ஐயமின்றிக் கணக்கிடச் சம நீளமும் சம இடைவெளியும் உள்ள துடிப்புகளை அனுப்பி, துடிப்புத் தொகுத்தல் முறையில் வெள்ளியின் தொலைவைக் கணக்கிட்டார். அவருடைய ஆராய்ச்சியில் இருவித முறைகள் கையாளப்பட்டன. ஒன்றில், முன்னரே தீர்மானிக்கப் பட்ட முறைப்படி துடிப்புகளில் பாதியளவு நீக்கப்பட்டன. ஏற்பியில் தொகுனியாக்கம் செய்யப்பட்டபொழுது, அதே முறையில் சில கால வடிச் சுற்றுகளும் (time base) நீக்கப்பட்டன. பெறப்படும் சைகை யுடன் ஒத்துள்ள முறையில் துடிப்புகளைத் தொகுக்கும்பொழுது மட்டுமே கால வடியில் அறியப்படும். எதிரொளிப்பு உச்சமாக இருக்குமெனவும் எதிர்பார்க்கப்பட்டது இதே விளைவை, துடிப்பு களுக்கிடைப்பட்ட நேரங்களை வெவ்வேறு அளவில் அமைத்தும், அவற்றைத் தொகுத்தும் பெறலாம். ஆனால், இம்முறை இன்னும் கையாளப்படவில்லை.

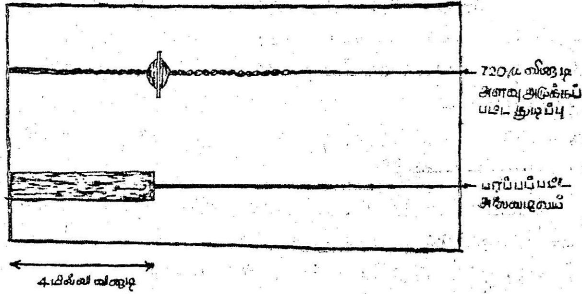
மேலே கூறப்பட்ட முறையில் துடிப்புகளில் பாதி நீக்கப் பட்டன. இரண்டாவது முறையில் துடிப்புகளின் சரிபாதி பகுதியின் கட்டத்தை ஏற்கெனவே நிர்ணயிக்கப்பட்ட ஒரு முறையில் மாற்றியும் தொகுக்கலாம். இம்முறையில் பரப்பின் முழுத்திறனும் பிரயோகிக்கப்படுவது ஒரு நன்மையாகும். இம் முறை வெற்றி கரமாக நடைபெற அநேக எதிரொளிக்கப்பட்ட துடிப்புகளுக் கிடையேயும் ஓரியல் விளைவு இருக்க வேண்டும்.

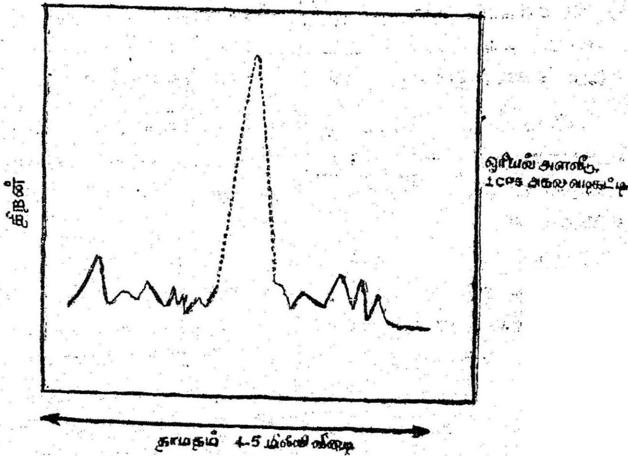
மேலே கூறப்பட்ட இரு முறைகளைத் தவிர வேறு முறைகளும் கையாளப்பட்டன. கோள்களின் தூரங்கள் மெதுவாக மாறிக் கொண்டே இருக்கின்றன என்ற அடிப்படையில் அவை உருவாக் கப்பட்டன.

ஒரு தொடர் அலை ராடார் மூலம் தொலைவுப் பகுப்பைப் பெறுதற்காக, ராடார் வானியலில் பரப்பப்படும் அலை வடிவத் தொகுத்தல் முறை கையாளப் படுகிறது. இம்முறை எல்கேம்போ ராடாரில் பயன்படுத்தப்பட்டது. இதில் பரப்பியின் அதிர்வெண் முன்னரே தீர்மானிக்கப்பட்ட முறைப்படி இரு மதிப்புகளுக் கிடையே மாறிமாறி இணைக்கப்பட்டது. ஏற்பிகளில் இவை மீண்டும் பெறப்பட்டபொழுது இரு வடிகட்டிகளின் வெளிவரு அளவால் தொகுனிகளால் பிரிக்கப்படுகிறது. இத் தொகுனிகள் இரு வடிகட்டிகளுக்கிடையே மாறிமாறி இணைக்கப்படுகின்றன:

இவை இணைக்கப்படும் முறை, பரப்பியில் அதிர்வெண் மாறிய முறையை ஒத்திருக்கும். இத்துறையில் ஆராய்ந்த விஞ்ஞானிகள் அனைவரும் இதே முறையைத்தான் பின்பற்றினர். இம்முறைகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு பரப்பலில் அதிர்வெண்ணிலோ, வீச்சிலோ அல்லது கட்டத்திலோதான் இருந்தது.

ஒரு துடிப்பு ராடாரைப் பயன்படுத்திப் பெறுகின்ற தொலைவுப் பகுதிறனைவிட அதிகமாகப் பெறுவதற்கு ராடார் வானியலில் அலை வடிவத் தொகுத்தல் முறை பயன்படுகிறது. இதைப் பெறுவதற்கான அமைப்பு துடிப்பை அமுக்குவதாகக் (pulse compression) கொள்ளப்படுகிறது.

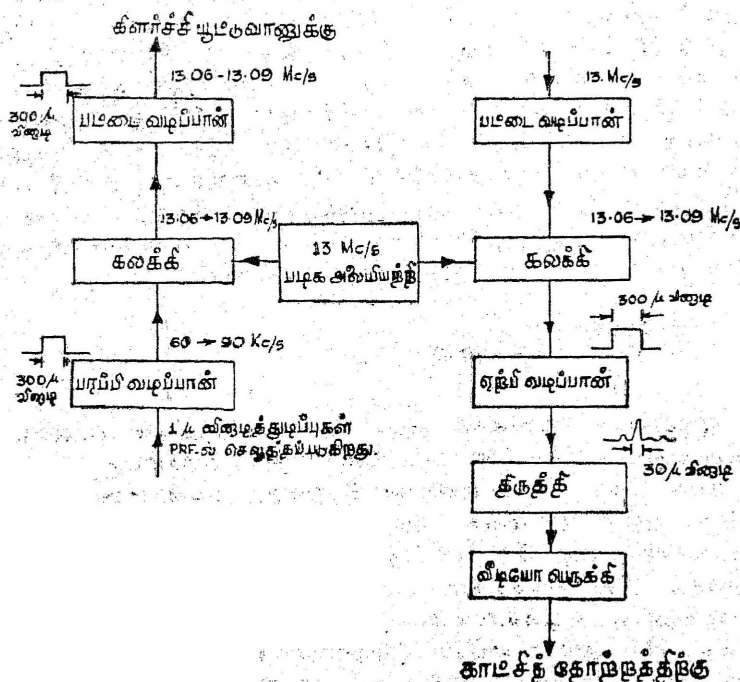



படம்: 31. 1.

மில்ஸ்டோன் ராடார் நிலையத்தில் 4 மில்லி விநாடி நீளமுள்ள துடிப்புகள் 360 மைக்ரோ விநாடி நீளமுள்ள துடிப்புகளாகவும், 440 விநாடி உள்ள துடிப்புகள் 40 மைக்ரோ விநாடி நீளமுள்ள துடிப்புகளாகவும் அமுக்கப்பட்டன. ஒவ்வொரு வகையிலும் துடிப்பு அமுக்கத் தகவு 11 ஆகக் கொள்ளப்பட்டது. அதாவது துடிப்பின் இணைமாற்று உச்சத்திறன், உண்மையாக அனுப்பப் பட்டதைவிட 11 மடங்கு அதிகரித்தது. படம் 31·1-ல் நான்கு மில்லி விநாடி நீளமுள்ள துடிப்பும், அதனுடைய அமுக்கப்பட்ட மாதிரியும் அதை அனுப்பியதால் வெள்ளியில் ஏற்பட்ட எதிரொளிப்பும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

இம்முறைகளில், துடிப்புகளிலுள்ள கட்டத்தைத் தொகுத்தல், ஓர் எழுவிழு சுற்றை (flip - flop circuit) 4 மெகா சுற்று/விநாடி அதிர்வெண்ணில் இயக்கியதால் பெறப்பட்டது.




படம் 31·2.

மற்றொரு முறைத் துடிப்பு அமுக்கத்தில் அதிர்வெண் பண்பேற்றம் கையாளப்படுகிறது. இதற்கு 'அதிர்வெண் பண்

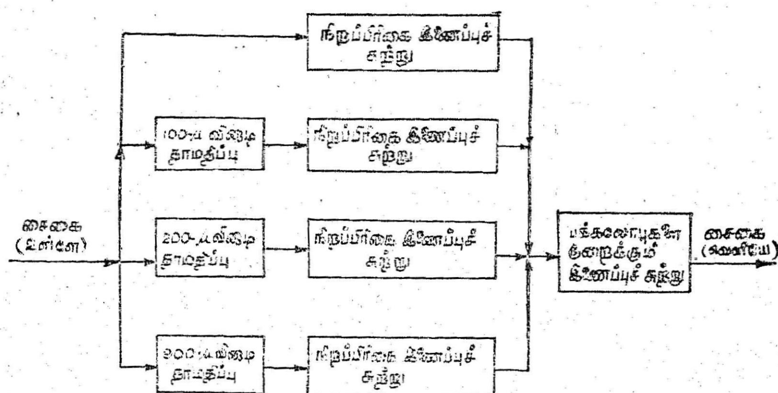
பேற்றத் துடிப்பு அமுக்க முறை' என்பது பெயர். இம்முறையில் பரப்பப்படும் அலை வடிவத்தில் கட்டம் தொடர்ச்சியாக மாற்றப் படுகிறது. எனவே, துடிப்பின் அதிர்வெண்ணும் தொடர்ச்சியாக மாறுகிறது. ஏற்பியல் துடிப்பு ஒரு பிரிக்கும் அமைப்பிற்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இது, அதிர்வெண் பகுதிகளை வெவ்வேறு அளவிற்குத் தாமதிக்கச் செய்கிறது. இவ்வமைப்பு, முதலில் அனுப்பப்பட்ட குறை அதிர்வெண்களை அதிக அதிர்வெண் வரும் வரை தாமதிக்கச் செய்கிறது. அவற்றை அனுப்பப்பட்டதை விடக் குறுகிய துடிப்புகளாகக் கொடுக்கிறது. துடிப்பு அமுக்க ராடாரின் அமைப்பு, படம் 31·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பரப்பும் வடிகட்டி, ஒரு பிரிக்கும் வடிகட்டியாகும். உண்மை யில் இது ஒரு வடிகட்டி—உயர் அதிர்வெண்ணுகும் (high pass). இதை ஒரு மைக்ரோ விஞடி நீளமுள்ள துடிப்பினுல் கிளர்ச்சி யூட்டும்பொழுது 300 மைக்ரோ விஞடித் துடிப்புகளை வெளிப் படுத்தும் அதனுடைய அதிர்வெண், தொடக்க மதிப்பான 60 $Kc/s$ லிருந்து 90 $Kc/s$-க்கு அதிகரிக்கிறது. இது ஒரு கிளர்ச்சியூட்டும் அமைப்புடன் இணைக்கப்படுகிறது. ஏற்பியில் இச் சைகைகள், பரப்பியிலுள்ள வடிகட்டிக்கு எதிர்முறையில் இயங்குகின்ற வேருெரு வடிகட்டிக்குக் கொடுக்கின்றன. இது, உயர் அதிர் வெண்களைவிடக் குறை அதிர்வெண்களை அதிகமாகத் தாமதிக்கச் செய்கிறது. இவ் வடிகட்டி முக்கியமாக வடிகட்டி — குறை வெண்ணுகும். அதன் வெளிவரு அளவு 30 மைக்ரோ விஞடி யுள்ள துடிப்பாகும். எனவே, மொத்த அமுக்கம்,

$$\frac{300\mu}{30\mu} = 10 \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வகை ராடார்களை அமைப்பதில், வடிகட்டிச் சுற்றுகளை அமைப்பது ஒரு சிக்கலான பிரச்சினையாகும். தற்சமயம், துடிப்பு அமுக்கத் தகவு 50:1-க்குமேல் பெறுவது கடினமாகும். எங் கெங்கு அதிக அமுக்கத் தகவுகள் தேவைப்படுகின்றனவோ அங்கெல்லாம் ஒரு நேர்கோட்டு அதிர்வெண் பண்பேற்றியை அமைத்து ஒரே வடிகட்டிச் சுற்றைப் பரப்பியிலும் ஏற்பியிலும் ஏற்படுத்துவது வழக்கமாகும். இத்தகைய அமைப்புகளில் ஒரு பிரிகை வலை அமைப்பையே (dispersive net work) அமுக்கத் தகவு 50:1 தேவைப்படும்பொழுது உபயோகப்படுத்துகிருேம். ஆனுல், படம் 31·3-ல் காட்டியுள்ளவாறு பல தனித்தனியான பிரிகை அமைப்புகளை உபயோகித்து, ஒவ்வொன்றிலும் உள்ளிடு அளவைத் தாமதித்து துடிப்பு அமுக்கத் தகவுகள் 1000:1 அளவு

தரக்கூடிய வடிகட்டுச் சுற்றுகளை அமைக்கலாம். 1963-ல் இத்தகைய சுற்று ஒன்று ஜேக்கோபஸ் (Jacopus) என்பவரால் அமைக்கப்பட்டு ஒரு மில்லி வினாடி துடிப்பை 1 மெகா சுற்று/ வினாடி-ல் விரவப் பயன்பட்டது. ஏற்பியில் பக்கப் பட்டைகளை மாற்றி, சைகையை அதே அமைப்பிற்குக் கொடுத்து, ஒரு மைக்ரோ வினாடி துடிப்பு பெறப்பட்டது. இம் முறையில் எல்லா வாய்க்கால் களையும் ஒரே மாதிரி வைத்தால், நீளத்தை மிகத் துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்தல் போன்ற பல சிக்கல்கள் உள்ளன.




படம் 31·3

அமுக்கத் தகவு 1000:1 பெற பிரிகை அமைப்பின் திட்ட வரை படம்

அண்மையில் கையாளப்பட்டுள்ள வேறொரு முறையில் அதிர் வெண் பகுப்பு முறை உபயோகப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இவ்வதிர் வெண்ணை, இலக்கக் கண்ணியில் (digital computer) கட்டுப் பாடு செய்து தேவையான அளவு விரைவாக மாற்றலாம். ஒரே அதிர்வெண்ணைப் பரப்பிக்குக் கொடுத்து, சரியான தாமதத்திற்குப் பின் ஏற்பிக்குக் கொடுத்து, தேவையான அமுக்கத் தகவைப் பெறலாம். இம்முறை இப்பொழுது அதிகமாகக் கையாளப்பட்டு வருகிறது. ரஷ்ய நாட்டு விஞ்ஞானிகள் இம் முறையைப் பயன் படுத்திச் சிறந்த பகு திறனைப் பெற்றுள்ளனர்.

## திருத்திகள் (Rectifiers)

ஒரு சைகையின் முழுத் திறனை நிர்ணயிப்பதற்கு ஏற்பியின் புறவாயில் ஒரு பகுப்பானை அமைப்பது வழக்கம். இருமடி விதி பகுப்பான் (square law detector) மற்ற அனைத்துப் பகுப்பான் களைவிட வலிவு குறைந்த சைகைகளுக்கு அதிக அளவு சைகை

இரைச்சல் புறவாய் மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றுள்ளது. இவ் வேறுபாடு அதிக அளவில் இருப்பதில்லை. சராசரி மதிப்பு சுழியையும், சராசரி இருமடியின் இருமடியின்மூல மதிப்பு $\sigma$ ஐயும் உடைய காஸ்ஸியன் சைகை மின் அழுத்தத்திற்கு இருமடிப் பகுப்பானின் புறவாய் மின்னழுத்தம் நிகழ்திறப் பங்கீடு, (probability distribution) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் பெறப்படுகிறது.

$$W(Q) = \frac{1}{2\sigma^2} e^{-\frac{Q}{2\sigma^2}} \quad \ldots \quad (1)$$

பெரும்பான்மையான நிகழ்திற மதிப்பு சுழியாகும். சராசரி மதிப்பு $\bar{Q} = 2\sigma^2$

$n$ எண்ணிக்கையுள்ள தனித்தனியான கூறுகளை ஆராய்ந்த பிறகு மாறுபாடு (variance)

$$\bar{Q} = \frac{(\bar{Q})^2}{4n} = \frac{\sigma^2}{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

எனக் காட்டலாம்.

ஒரு முழு அலை நேர்கோட்டுப் பகுப்பானுக்குப் புறவாயின் நிகழ் திறப் பங்கீடு கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் கொடுக்கப் படுகிறது.

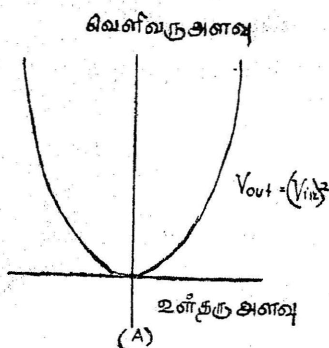
$$W(L) = \frac{L}{\sigma^2} e^{-\frac{L^2}{2\sigma^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

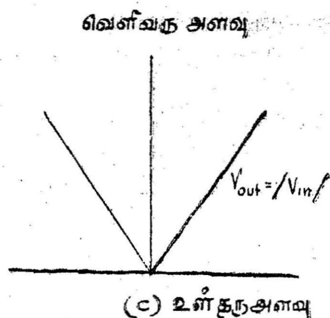
இது ராலேயின் விதியாகும். இப்பொழுது பெரும்பான்மையான நிகழ் திற மதிப்பு $\sigma$ ஆகும். சராசரி மதிப்பு

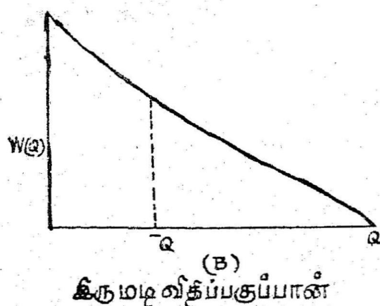
$$\bar{L} = \sigma\sqrt{\pi/2} = 1\cdot25\,\sigma$$

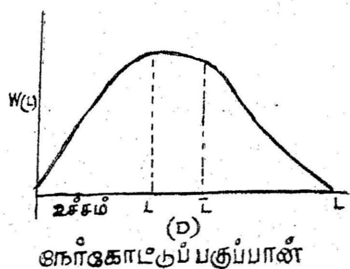
நேர்கோட்டுப் பகுப்பானில் $n$ கூறுகளை ஆராய்ந்த பிறகு, சராசரிப் புறவாய் மின்னழுத்தத்தின் நிலையற்ற தன்மை சராசரி அகவாய் மின்னழுத்தத்தைத் தீர்மானிப்பதிலுள்ள நிலையற்ற தன்மைக்குச் சமமல்ல. $n$ கூறுகளுக்குப் பிறகு புறவாயின் மாறுபாடு

$$\bar{L} = \frac{4\left(2 - \frac{\pi}{2}\right)}{\frac{\pi}{2} n} \sigma' = \frac{\sigma'}{0\cdot915 n} \quad \ldots \quad (4)$$




**படம் 31·4.**
பகுப்பான் விதிப் பண்புகள்

படம் (A) இருமடி மின்னழுத்தப் பண்புகள்,
,, (B) காஸ்ஸியன் இரைச்சல் உள்ளிடு சைகைக்குப் புறவாயில் நிகழ் திறப் பங்கீடு சார்பலன்.
,, (C) நேர்கோட்டு விதி மின்னழுத்தப் பண்புகள்.
,, (D) வெளிவரு மின்னழுத்தங்களில் நிகழ் திறப் பங்கீடு ω ($L$)

மேலே கூறப்பட்டனவற்றைச் சிறிது மாற்றியும் கூறலாம். அமைப்பு வெப்பநிலை $T_s°K$ ஆக இருந்தால் வெளிவரு சைகையில் $n$ கூறுகளை ஆராய்ந்த பின் இருமடி விதிப் பகுப்பானுக்கு $r.m.s$, நிலையற்ற தன்மை (uncertainity) $\frac{T_s}{\sqrt{n}}°K$ ஆகவும், நேர்கோட்டுப் பகுப்பானுக்கு $\frac{T_s}{\sqrt{0·91n}}°K$ ஆகவும் இருக்கும். இதிலிருந்து. நேர்கோட்டுப் பகுப்பான், அமைப்பு வெப்பநிலையில் 5% அதிகமாகத் தருவது தெரிகிறது.

ஒரு சாதாரண ஏற்பியல் இருமடி விதிப் பகுப்பானைப் பயன்படுத்தும்பொழுது $Q_0$ ஐ விட அதிகமான மின்னழுத்தத்துடன் ஒரு சைகையைப் பெறுகின்ற நிகழ் திறம் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

$$\text{நிகழ்திறம் [உறை} > Q_0] \; (\text{envelope}) = \int_{Q_0}^{\infty} W(Q)\, dQ$$

$$= e^{-\frac{Q_0}{2\sigma^2}} \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$

இவ்வாறு மதிப்புகளில் ஏறத்தாழ ஒரு விழுக்காடு $9 \cdot 2\sigma^2$ ஐ விட அதிகமாக உள்ளது; அல்லது சராசரி மதிப்பு $\overline{Q}$ ஐ விட $4 \cdot 6$ மடங்கு அதிகமாகும். ஒரு நேர்கோட்டுப் பகுப்பானுக்கு $L \overline{O}$ ஐ விட அதிகமான மதிப்பைப் பெறுகின்ற நிகழ்திறன் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது,

$$\text{நிகழ் திறம் [உறை} > L_0] \; (\text{envelope}) = \int_{L_0}^{\infty} W(L)\, dL$$

$$= e^{-\frac{{L_0}^2}{2\sigma^2}} \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

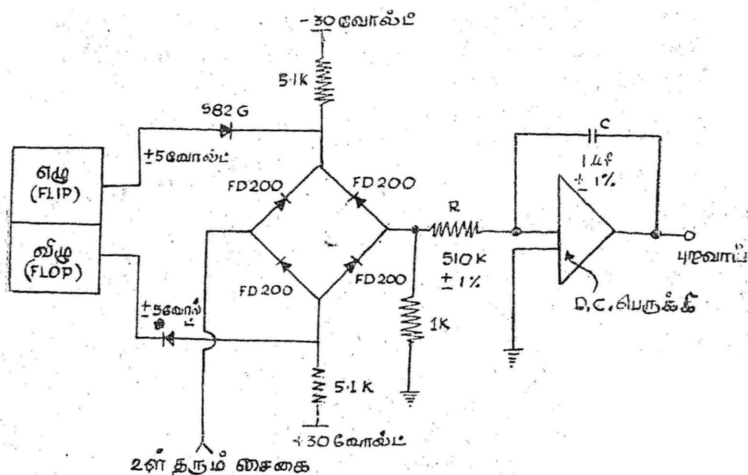
ஒரு விழுக்காடு மதிப்புகளே $3\sigma$ ஐ விட அதிகமாக உள்ளன; அல்லது சராசரி மதிப்பு $\overline{L}$ ஐ விட $2 \cdot 4$ பங்கு பெரிதாக உள்ளன. இவ்விதம நேர்கோட்டுப் பகுப்பான், 99% கூறுகளைச் சராசரி மதிப்பைப் பொறுத்து மிகக் குறுகிய அளவில் அமுக்குகிறது. சுருங்கக் கூறின், இருமடி விதித் திருத்தியானது, நேர்கோட்டுப் பகுப்பானை விடச் சிறிது அதிகப் பயனுள்ளது. மாறாக, நேர்கோட்டுப் பகுப்பான், அமைப்பதற்கு எளிதாகவும், புறவாய் மின் அழுத்தத்தை, அகவாய் அழுத்தத்தின் அளவிலேயே வைத்துக் கொள்ளவும் பயன்படுகிறது. நேர்கோட்டுப் பகுப்பான்கள் பொதுவாகச் சிலிக்கன் டயோடுகள் போன்ற குறைக் கடத்திகளைக் கொண்டு செய்யப்படுகின்றன இக்குறைக கடத்திகள் அதிக உச்ச எதிர் மின்னழுத்தத்தையும் குறைந்த நேர் மின்னழுத்தச் சரிவையும் பெற்றுள்ளன பொதுவாகச் சைகையை டயோடுக்குக் கொடுக்கும் முன் தேவையான அளவு பெருக்கி மின்னழுத்த அளவு 1000 : 1 இருக்குமபடி செய்யப்படுகின்றது. ஒரு நேர்கோட்டுத் திருத்தியின் புறவாயில் டயோடுகளும் மின் தடைகளும் கொண்ட

ஓர் அமைப்பை வைத்து இருமடி விதித் திருத்தம் பெறப்படுகிறது. மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்பொழுது இந்த டயோடுகள், தொடர்ச்சியாகக் கடத்துமாறு அவை அமைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு, புறவாய் மின்தடை வழியே செல்லும் மின்னோட்டம் முழு அமைப்பிற்கும் தரப்பட்ட மின்னழுத்தத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்குமாறு செய்யலாம். ஒரு சில பகுதிகளை வைத்துக் கொண்டு ஓர் இலட்சிய (perfect) இருமடி விதிப் பகுப்பானைப் பெறுவது கடினமாகும். கூறுகளின் எண்ணிக்கை குறைவாக இருக்கும் பொழுது இருமடி விதிப் பகுப்பானின் இயக்கப் பகுதியும் நேர்கோட்டுத் திருத்தியின் இயக்கப் பகுதியும் ஏறக் குறைய ஒன்றுகவே இருக்கும். ஒரு நேர்கோட்டுப் பகுப்பானை உபயோகித்துக் கையாளக் கூடிய உள்ளிடு சைகைகளின் இயக்கப் பகுதி ஏறத்தாழ $60db$ களாகும். ஆனல் இருமடி விதிப் பகுப்பானைப் பயன்படுத்தும்பொழுது அது $30db$ மட்டுமே இருக்கும். எங்கெங்கு எதிரொளிப்புகள் இரைச்சலைவிட வலுவுள்ளனவாக இருக்கின்றனவோ அங்கெல்லாம் நேர்கோட்டுப் பகுப்பானைப் பயன் படுத்துவது உசிதமாகும். மேலும், பெறப்பட்ட மதிப்புகளின் இருமடியைக் காணவேண்டும். இலக்கக் கூறுகளைக் கண்டு அவற்றைக் கம்ப்யூட்டரில் தொகுக்க வேண்டுமெனின், அவற்றைத் தொகுக்கும் முன் இவற்றின் இருமடியைக் காணவேண்டும். அப்பொழுது கிட்டத்தட்ட ஓர் இலட்சிய இருமடி விதித் திருத்தி கிடைக்கும்.

**ஒத்தத் தன்மை முறைகள்** (Analog methods)

துடிப்பு ராடார் சைகைகளை ஆராய, தொகுனியாக்க வேண்டிய எலெக்ட்ரானிய சுவிட்சு வழியே ஒரு மில்லர் தொகுப்பானுக்கு (miller integrator) படம் 31·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இணைக்கலாம்.

இப்படத்தில் நான்கு சிலிக்கன் டயோடுகள் ஒரு பால முறையில் அமைக்கப்பட்டு ஒரு சுவிட்சாக இயங்குகின்றன. டயோடுகள் பொதுவாகக் கடத்தக் கூடியனவாக உள்ளன. ஏனெனில், பாலத்தின் எதிர் முனைகளில் 60 வோல்ட் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. இதனுல் பாலச் சுற்றின் அகவாய், புறவாய்களுக்கிடையே 200 ஓம்கள் மின் தடையையுடைய ஒரேயொரு மின்தடையை இணைப்பதற்கு ஒப்பாகும். பாலச் சுற்றைத் தொடர்ந்து ஒரு மில்லர் தொகுனியாக்கச் சுற்றிலுள்ள D. C. பெருக்கியையுடைய ஒரு தொகுனிச் சுற்று உள்ளது. பாலச்சுற்றின் சுவிட்சு மூடப்பட்டிருக்கும் பொழுது வெளிவரு மின்னழுத்தம் $e_0$,




படம் 31·5.

பிற்பகுப்பான் தொகுனியாக்கச் சுற்று.

$$e_0 = \frac{1}{Rc}\int_0^t e_i\,dt \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

என்னும் சமன்பாட்டின்படி மாறுகிறது. இங்கு $e_i$ என்பது பாலச் சுற்றுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட உள்ளீடு மின்னழுத்தமாகும். அதாவது, இது திருத்தப்பட்ட சைகையாகும். தொகுனிச் சுற்றின் இலாபம் $\frac{1}{Rc}$ ஆகும். எனவே, பல்வேறு தொகுனியாக்கச் சுற்றுகளைப் பயன்படுத்தவேண்டுமெனில் அவற்றின் இலாபத்தை $\pm 0\cdot1\%$-க்குள் சம அளவில் வைக்கலாம். படம் 31·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ள இருநிலைப் பல்லதிர்வி (bistable multivibrator) அல்லது விழுஎழுச் சுற்று (flip-flop) (S 82 G) டயோடுகள் கடத்தும் அளவு மாறுபடும்பொழுது சுவிட்சு திறக்கப்படும். இந்நிலையில் அகவாய்க்கும் புறவாய்க்கும் இடையே உள்ள மின் தடை சுமார் $10^9$ ஓம்களாகும். பாலச்சுற்றின் புறவாயிலுள்ள 1000 ஓம் மின்தடை மில்லர் சுற்றின் புறவாய் மின்னழுத்தம் $e_0$ மாறுமல் இருக்குமாறு அகவாய் மின்னழுத்தத்தைத் தொகுனியாக்கச் சுற்றுக்குத் தரை இணைப்பு கொடுக்கிறது.

இவ்வமைப்பைக் கொண்டு எதிரொளிப்புத் திறனைக் கால தாமதத்தின் அடிப்படையில் அளப்பதற்கு ஒரு தொகுனியாக்கச்

சுற்றைப் பல்வேறு கால தாமதங்களில் பல முறையிலோ அல்லது பல சுற்றுகளை ஒரே தடவையிலோ உபயோகிக்கலாம்.

மேலே கூறப்பட்ட ஒத்தத் தன்மைச் சுற்றுகளைக் குறைந்த செலவில் அமைக்கலாம். இவற்றைப் (*cw*) பகுதி அமைப்புகளிலும் பயன்படுத்தலாம்.

இப்பகுதியில் ராடாரைச் சராசரி எதிரொளிப்புத் திறனுக்கும், காலதாமதப் பண்புகளுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பை அறிய எவ்வாறு பயன்படுத்துவது என்பதைப் பற்றிச் சுருக்கமாகப் பார்த்தோம். இவை ராடார் வானியலில் பயன்படுகின்றன. இதைவிட உயர்ந்த தொழில் நுட்ப முறைகள் காலப்போக்கில் ஏற்படும். எதிர்காலத்தில் அதிர்வெண் பண்பேற்றமும் துடிப்புகளும் இன்னும் சிறந்த பயனைத் தரலாம்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Principles and Application of Random Noise Theory —*By J. S. Bendet.*
2. An introduction to the theory of Random signals and noise. —*By W. B. Davenport and W. L. Root.*
3. Sampled Data control systems. —*By G. F. Franklin.*
4. Linear Recurring Sequences. —*By N. Zierler.*

# 32. ராடார் வானியலின் பகுப்பான்கள்

## (Detectors for Radar Astronomy)

வானத்திலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து ஓர் எதிரொளிப்பைப் பெறும் பொழுது ஒரு சாதாரண ராடாரில் உள்ளதை விட முற்றிலும் மாறுபட்ட ஒரு சூழ்நிலையை நாம் சந்திக்கிறோம். ராடார் வானியலில் ஆழமான எதிரொளிப்பான்களே நமக்கு ஊக்கம் அளிப்பனவாகும். அதாவது அவை பல்வேறு தாமதங்களில் எதிரொளிப்புகளை அனுப்பக் கூடியனவாக இருக்க வேண்டும். சாதாரண ராடாரில் ஒருவர் புள்ளி இலக்குகளின் கூட்டங்களை ஆராய முடியும். ஆனால் ராடார் வானியலில் அந்த இலக்குகளைப் பகுத்துக் காண்பதே முக்கியமாகும். அதாவது ராடார் வானியல் சோதனைகளில் பல எதிரொளிப்பு அடுக்குகளையுடைய இலக்குகளை அறிவதே குறிக்கோளாகும். அதற்குத் தக்கவாறு ஏற்பியும் எல்லா எதிரொளிப்புகளையும் பெறக் கூடியதாக இருக்க வேண்டும். சாதாரண ராடார்களுக்கும், ராடார் வானியலில் பயன்படும் ராடார்களுக்கும் மற்றொரு வேறுபாடும் உண்டு. சாதாரண ராடார்களில் பறந்து வரும் விமானங்களின் அல்லது எரி பொருள்களின் பாதைகள் நிலையானவையல்ல. ஏனெனில் அந்தப் பாதைகள் மாறக் கூடும்; அல்லது அவற்றைச் செலுத்துபவர் ராடாரை ஏமாற்றுவதற்காக பாதைகளை மாற்றலாம். எனவே இலக்கின் தொலைவோ அல்லது தொலைவு மாறும் வீதமோ முன் கூட்டியே தெரியாமல் போகலாம். மாறாக, சூரிய குடும்பத்தில் உள்ள கோள்கள் பல்லாண்டுகளாக ஒளியியல் வானியலினால் நிர்ணயிக்கப்பட்ட பாதைகளிலேயே சென்று கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றை ஆராய்வதே ராடார் வானியலின் முதன்மைக் குறிக்கோளாகும். இது ராடார் வானியலுக்கு ஒரு குறிப்பிடத்தக்க பெரிய நன்மையாகும்.

ஒழுங்கற்ற எதிரொளிப்பும் ஏற்ற இறக்கமும் சாதாரண ராடாருக்கும், வானியல் ராடாருக்கும் பொதுவாகும். பிந்தை

யதில் இது ஒரு கோளின் பரப்பில் ஏற்படும் மாறுதல்களாலோ அல்லது வாயு வடிவமான அல்லது பிளாஸ்மா நிலையில் உள்ள (சூரிய ஒளி வட்டம்) ஒரு பரப்பில் வெப்பக் கிளர்ச்சியால் ஏற்படும் மாறுதல்களினுலோ உண்டாகிறது. சாதாரண ராடார்களில் எதிரொளிப்புகள் மிகவும் வலுவுள்ளனவாக இருப்பதால் இந்த ஏற்ற இறக்கங்கள் ஏற்பி அமைப்பில் புறக்கணிக்கப்படுகின்றன. ஆனுல் ராடார் வானியலில் எதிரொளிப்புகள் மிகவும் வலுவற்றனவாக இருப்பதால் அவற்றைப் புறக்கணிக்க முடியாது; அவற்றைத் தொகுத்து விளைவுகளைக் காண வேண்டும்.

கோள்களிலிருந்து வருகின்ற எதிரொளிப்புகளையும், சூரிய எதிரொளிப்புகளையும் பகுத்தற்கான ஏற்பிகளைப் பற்றிச் சிறிது பார்ப்போம். இந்த எதிரொளிப்புகள் காலம், அதிர்வெண் ஆகிய இரண்டிலும் விரவியுள்ளன. இவை அண்ட இரைச்சல், ஏற்பி இரைச்சல் ஆகியவற்ருல் தடுக்கப்படுகின்றன. ஏற்பிகளில் பல வகைகள் இருந்த போதிலும் ரேடியோ வானியலில் பெருமளவு பயன்படும் ரேடியோமானி தொழில் நுட்ப ஏற்பியே ராடார் வானியலிலும் பயன்படுகிறது.

ஏற்பிகளைப் பற்றிக் கூறுவதற்கு முன்பு அவைகளின் முடிவுகளைப் பகுக்கும் பொழுது கொள்ளப்பட்ட தற்கோள்களை நினைவு கூறுதல் நலம். முதலாவதாக, சைகையில் தொடர்ந்து ஏற்படுகின்ற தொலைவில் மாறுதல், டாப்ளர் இடப் பெயர்ச்சி ஆகியவற்றிற்குத் தகுந்த திருத்தங்கள் கொடுத்து இலக்கின் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்தினுல் உண்டாகும் விளைவுகளை நீக்குவதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு இலக்கின் மையம் சோதனை செய்யப்படும் காலம் முழுதும் ஒரு தெரிந்த குறிப்பிட்ட தொலைவிலேயே இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. இந்தத் தொலைவில் ஐயம் ஏற்பட்டால் இலக்கைப் பல்வேறு நிலைகளில் வைத்து, தொலைவின் மதிப்பைப் பற்றிப் பரிசோதனை செய்ய வேண்டும். இப் பரிசோதனை சிறந்த முறையில் அதற்கான கருவிகளால் (processor) செய்யப்படுகின்றன. இரண்டாவதாக, இலக்கின் புள்ளி விவரப் பண்பியல்புகள் தெரிந்ததாகக் கொண்டு அவற்றிற்குத் தக்கவாறு ஏற்பியை நிர்மாணிக்கிருேம். ஓரளவிற்கு இந்தப் புள்ளி விவரப் பண்பியல்புகள் காஸ்ஸியன் முறையில் உள்ளன என்றும், ராடார் சோதனையின் பொழுது மாறுவதில்லை என்றும் கொள்ள வேண்டும். மேலும் சுணிசமான எதிரொளிப்பு ஆழமுள்ள எந்த ஓர் இலக்கையும் தாங்களாகவே ஏற்ற இறக்கத்தையுடைய பல்வேறு புள்ளி இலக்களின் தொகுப்பு என்றும் கொள்ளலாம். இறுதியாக, ராடாரில் அனுப்பப்படும் ஆற்றலும், எதிரொளிப்பும் குறுகிய

பட்டை என்றும், தொகுப்பு அமைப்பு இரைச்சல் தட்டையான ஆற்றல் மாலை என்றும் கொள்ளலாம்.

ஏற்பியைக் கொண்டு பகுக்கும்பொழுது, இலக்கிலிருந்து எதிரொளிப்புப் பெறப்பட்டாலும், அல்லது பெறப்படாவிடினும், இந்நிலைக்கேற்றவாறு நாம் இலக்கைப்பற்றி ஒரு மிகச் றந்த முடிவை எடுக்கக் கூடியவாறு கையாளுகின்ற முறைகள் அமையவேண்டும். மிகச் சிறந்த முறை எனப்படுவது இலக்கு இருக்கும்பொழுது அதைக் காணுகின்ற அதிகமான நிகழ் திறத்தைக் கொடுப்பதாகும்; அல்லது இலக்கு இல்லாதபொழுது அதை அறிவதற்கான ஒரு நிகழ் திறத்தைக் கொடுப்பதாகும். பிந்தையது பொய்யான பகுத்தல் (false detection) அல்லது பொய்யான அறிவிப்பு (false alarm) எனப்படும். இம் முறையில் பகுத்தல் முறைகளை ஆராயும் பொழுது நாம் முன் கூட்டியே கொள்ளக்கூடிய அபிப்பிராயங்களையும் ஒரு சிறந்த சைகைப் பகுக்கும் கருவியைப் பற்றிய தவருன எண்ணங்களையும் விலக்கக்கூடிய வாய்ப்பு ஏற்படுகிறது.

பெரும்பாலான ராடார் வானியல் சோதனைகளுக்கு உண்மையான பெருமப் பகுத்தல் முறை, ரேடியோமானி முறைகளை ஒத்ததாகும். பொதுவாக பிந்தைய முறைகள், அதாவது ரேடியோமானி முறைகளும், தரக் குறைவானவை அல்ல என்று கூறப்படுகிறது. இந்த நிலைகளில் புறவாயில் கிடைக்கும் சைகை இரைச்சல் தகவை (*SNR*)ரேடியோமானி பகுத்தல் முறையில் போதுமான அளவுள்ளதாகக் கொள்ளலாம். அதாவது *SNR* அதிகமாக இருந்தால் ஆற்றலைப் பரப்பல், ஏற்றல் ஆகிய இரண்டுமே சிறந்த முறையில் செய்யப்படுவதாகக் கொள்ளலாம்.

ஏற்கப்பட்ட சைகையில் முழு அளவில் இருமடி விதிக்கு ஒப்ப வடிகட்டுதலைச் செய்கின்ற பகுப்பானைச் சிறந்த பகுப்பான் என்று கூறுகிறோம். ஓரியல் முறையில் பகுக்க முடியாத நிலைகளில் உள்ள இது ஒத்த பகுப்பு அமைப்புகளும் நடைமுடையில் மிகச் சிறந்த விளைவுகளையும் கொடுக்கின்றது. இருமடி விதியின் அடிப்படையில் பகுக்கின்ற அமைப்புகளில் புறவாயில் பெருமளவு சைகை இரைச்சல் தகவுடைய அமைப்பே சிறந்த அமைப்பாகக் கருதப்படுகிறது.

இனி ராடார் வானியலில் பயன்படுகின்ற பகுப்பான்களின் சில மிக முக்கியமான உறுப்புகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

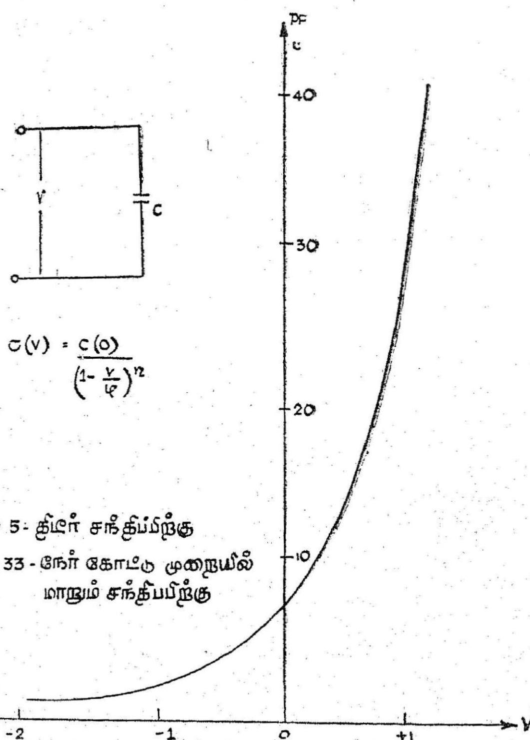
வேரக்டார் டயோடுகள் என்பன இருமுனைகளையுடைய குறைக் கடத்திகள் ஆகும். இவை சீரற்ற நேர்கோட்டு மின்

னேற்பு மின் மறுப்பையுடையவை; இதற்கு இவைகளுக்கு எதிர் திசை நூர்பு மின்னழுத்தம் கொடுக்க வேண்டும். இவை மின்தேக்கி டயோடுகள், மின்மறுப்பு டயோடுகள், சாராமாறி டயோடுகள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அலையியற்றியின் அடிப்படை அதிர்வெண்ணிலிருந்து மாறுபட்ட அதிர்வெண்ணில் ஆற்றலைக் கொடுத்து அலை வரும் அமைப்பின் ஆற்றலை அதிகரிக்க லாம் என்பது தெரிந்தது. இந்தத் தத்துவம், சீரற்ற நேர் கோட்டு (nonlinear) வடிவ மின் மறுப்பின் ஆற்றல் விரயமற்ற இயக்க முறையுடன் சேர்ந்து சாராமாறிப் பெருக்கிகளிலும், அதிர் வெண் மாற்றி (frequency converter) களிலும் பயன்படுகிறது.

வேரக்டார் டயோடு. டன்னல் டயோடைப்போல அடிப் படையில் ஒரு *PN* சந்திப்பு ஆகும். இதை ஜெர்மானியம், சிலிக்கன், காலியம் ஆர்சினைடு போன்ற பொருட்களால் தயாரிக்க லாம். டன்னல் டயோடுகளுக்கு மாருக, வேரக்டார் டயோடு களில் அதிக அளவு கலப்பு (doped) இல்லை. எதிர் நூர்பு மின் னழுத்தம் அதிகரிக்கும் பொழுது. சந்திப்பு மின்தேக்குத் திறன் குறைகிறது. சூழி நூர்பு மின்னழுத்தத்தில் பெரும் மின்தேக்குத் திறன் உண்டாகிறது. நூர்பு மின்னழுத்தம் நேரின மின்னழுத்த மாகி அதிகரிக்கும் பொழுது சந்திப்பு மின்தேக்குத் திறன் குறை கிறது. சூழி நூர்பு மின்னழுத்தத்தில் பெரும் மின்தேக்குத் திறன் உண்டாகிறது. நூர்பு மின்னழுத்தம் நேரின மின்னழுத்தமாகி அதிகரிக்கும் பொழுது மின்தேக்குத் திறனும் அதிகரிக்கிறது. படம் 32·1-ல் இந்த மாறுபாடு வரைபட முறையில் காட்டப் பட்டுள்ளது.

சாதாரண திருத்திச் சந்திப்புகளில் இப்பண்பு போதுமான அளவு கட்டுப்படுத்தப்பட்ட முறையில் தோன்றுவதில்லை. எனவே மாறுபடும் மின்தேக்கிகளாக இயங்க வேண்டிய டயோடுகளுக்கு விசேடமான அசுத்தப் பங்கீடுகளை (impurity distribution) உண்டாக்குவது அவசியமாகும்.

வேரக்டார் டயோடுகள் வான்வெளித் தொடர்பில் தொழிற் படும் முறைகளை இருபெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அவை யாவன: சாராமாறிப் பெருக்கிகள், மற்றும் பல்வேறு மைக்ரோ அலை தொழிற்படும் முறைகள், முதல் பிரிவில் குறைந்த இரைச்சலை யுடைய சிறிய சைகை சாராமாறிப் பெருக்கியைக் கூறலாம். இது கிட்டத்தட்ட மேசருக்கு ஒப்பாகும், 1959-ல் *J. P. L.* ஆராய்ச்சிக் கூடத்தில் 2810 பிரிவைச் சார்ந்த வேரக்டார் டயோடு பயன் படுத்தப்பட்டது. ஒரு திரவ நைட்டிரஜனுல் குளிர்விக்கப்பட்ட




படம் 32·1

*மின்தேக்குத் திறன் vs மின்னழுத்த மாறுபாடு*

சாராமாறிப் பெருக்கியில் இதனுடைய நிலை மின்தேக்குத் திறன் 10 *PF* ஆகும். இது 960 மெகா சுற்றுகளில் 18 *db* இலாபத்தைப் பெற்றிருந்தது. சாராமாறிப் பெருக்கியின் இரைச்சல் வெப்பநிலை $47°K$ ஆக இருந்தது. பம்பு அதிர்வெண் 1920 மெகா சுற்றுகளாகவும், பட்டை அகலம் 5 மெகா சுற்றுகளாகவும் இருந்தன. பிற்காலத்தில் இவை *X* பட்டைக்கும் அறை வெப்பநிலையில் சாரா மாறிப் பெருக்கிகளை இயக்குவதற்கும் விரிவாக்கப்பட்டன. காலியம் ஆர்சினைடையுடைய வேரக்டார்கள் *MS* 2505 பிரிவு என்று அழைக்கப்பட்டன. இவைகளுடைய மின்தேக்குத் திறன் 0·6 *PF* ஆகும். 8488 மெகா சுற்றுகளில் இவைகள் 20 *db* இலாபத்தைப் பெற்றன. பம்பு அதிர்வெண் 28·8 *Gc* ஆகவும், கீழ்ப்பட்டை அதிர்வெண் (idler frequency) 20·35 *Gc* ஆகவும் இருக்கின்றன.

சாராமாறிப் பெருக்கிகளில் பயன்படுகின்ற வேரக்டார் டயோடுகள் அவைகள் இணைக்கப்படுகின்ற சுற்றின் அளவுக்குச் சமமான மின்தேக்கு மின் எதிர்ப்பைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். அவைகளின் '$Q$' கூற்றெண் (Quality factor) மிகவும் அதிகமாக இருக்க வேண்டும். $Q$ கூற்றெண் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினுல் பெறப்படுகின்றது.

$$Q = \frac{\text{மொத்த மின்மறுப்பு மாறுபாடு}}{4R_s}$$

$$Q = \frac{S1}{2\omega\, R_s}$$

இங்கு $R_s$ என்பது டயோடின் பரவும் மின்தடை (spreading resistance) ஆகும். $S_1$ என்பது முதல் வரிசை ஃபூரியர் (fourier) குணகமாகும். மேலும் டயோடின் தன் ஒத்தியைவு அதிர்வெண் கீழ்ப்பட்டை (lower side band) அதிர்வெண்ணைவிட அதிகமாக இருப்பது உகந்ததாகும். மிகக் குறைந்த இரைச்சல் வெப்பநிலை களில் இயங்குவதற்குப் படிகங்கள் உகந்தவைகளாக இருக்க வேண்டும். அவ்வெப்பநிலைகளில் வெப்பநிலை குறையும்பொழுது பரவும் மின்தடை குறையவோ அல்லது நிலையாகவோ இருக்க வேண்டும். சாராமாறிப் பெருக்கிகள் வேரக்டார் டயோடுகளைப் பயன்படுத்தி மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்களில் மட்டும் பயன்படுவ தில்லை. ஒரு $UHF$ வேரக்டார் டயோடு பின்னுேக்கு அலை சாராமாறிப் பெருக்கி மின்னழுத்த இலாபப் பட்டை அகலம் 100 மெகா சுற்றுகளை ஈந்தது. இதை எலெக்ட்ரான் இயல் முறையில் இசைவித்து 250 முதல் 500 மெகா சுற்றுகள் வரை இயக்கலாம். இதில் சராசரி வெட்டுநிலை அதிர்வெண் 75 $GC$ ஐ யும் சராசரி சுழி மின் தேக்குத் திறன் $2{\cdot}0 \pm 0{\cdot}4\ PF$ ஐ யும் உடைய 11 தனித் தனியான இரட்டை $MA$ 4256 $X$-வேரக்டார் டயோடுகள் இருந்தன.

சாராமாறி மைக்ரோ அலைப்பகுதியில் வேரக்டார் டயோடுகளை அதிர்வெண் பெருக்கிகளாக உபயோகிக்கலாம். பொதுவாக இவை அதிர்வெண்ணை இரு மடங்காக்கவும், மும்மடங்காக்கவும் ஐந்து மடங்காக்கவும் பயன்படுகின்றன. ஒரு எப்பிடேக்சியல் (epitaxial) வேரக்டார் $MA$ 4346 $B$ வகையைச் சார்ந்தது, மின் தேக்குத் திறன் 3·07 $PF$ ஐ உடையது, 365 மெகா சுற்றுகளை 1825 மெகா சுற்றுகளாக மாற்றியது. இதில் ஏற்பட்ட இழப்பு 2·8 $db$ களேயாகும். $MA$ 4280 ஐச் சேர்ந்த வேரக்டார் டயோடு 169 மெகா சுற்றுகளை மும்மடங்காக்கி 510 மெகா

சுற்றுகளாகக் கொடுத்தது. இத்தகைய வேரக்டார் பெருக்கிகள் பயனீர் III, பயனீர் IV ஆகிய விண்வெளிக் கலங்களில் உபயோகப் படுத்தப்பட்டன. தரை நிலையங்களில் படிக அலைவியற்றிகளைக் கொண்டு நிலையான ஊர்தி அதிர்வெண்களை மைக்ரோ அலை அதிர் வெண்களுக்கு மாற்றுவதற்கு அவை பயன்படுகின்றன. வேரக்டார் டயோடுகள் டெல்ஸ்டார் துணைக்கோள் கலங்களிலும் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

இப்பகுதியில் அடுத்தபடியாக புழல் டயோடு (tunnel diode) களைப் பற்றிப் பார்ப்போம். புழல் டயோடுகள் இருமுனைகளை யுடைய குறைக் கடத்திக் கருவிகளாகும். இந்த டயோடுகளுக்கு நேர்திசையில் நூர்பு மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்கும்பொழுது அவைகளில் மின்னோட்ட மின்னழுத்த வளைகோட்டின் ஒரு பகுதி யில் அவை *A. C.* எதிர்மின் தடையைக் கொண்டுள்ளன. 1958-ல் லியோ எசாக்கி (Leo Esaki) என்பவரால் முதன் முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதிலிருந்து இன்று வரை இக்கருவி உலகின் பல நாடுகளிலும் வியக்கத் தக்க அளவு முன்னேற்றங்களை அடைந் துள்ளது.

புழல் டயோடு அடிப்படையில் ஒரு சாதாரண $P—N$ சந்திப் பாகும். ஜெர்மானியம், சிலிக்கன், காலியம் ஆர்சினைடு போன்ற டயோடுகளைப் பயன்படுத்தலாம். குறைக் கடத்திப் பொருள்களில் கொடையணுவிலும் (donar), ஏற்பணுவிலும் (acceptor) உள்ள அசுத்தங்களின் மாறுபாட்டின் அளவே இவைகளுக்குள்ள வேறு பாடு ஆகும். இவைகளில் உபயோகப்படுத்தப்படும் அசுத்தங் களின் அளவு திருத்திச் (rectifier) சந்திப்புகளுக்கு உபயோகப் படுத்தப்படும் குறைக் கடத்திப் பொருள்களிலுள்ள அசுத்தங்களைக் போல் ஏறத்தாழ 1000 மடங்கு அதிகமாகும். இந்த அதிக அளவு கலப்பு (doping) டயோடின் சிறப்பியல்பு வரைகோட்டுப் பகுதி களின் குறைந்த மின்னழுத்தம் குறைந்த மின்னோட்டங்களில் எதிர் மின் தடையை உண்டாக்குகிறது. இந்த எதிர்மின் தடையே டயோடை ஓர் உண்மையான இருமுனைச் சுற்றுப் பகுதியாக இயக்குவிக்கிறது. இத்தகைய டயோடுகள் இவ்வளவு சிறிய அமைப்பில் இதற்கு முன்பு கிடைத்ததில்லை. புழல் செய்கையே ஏறத்தாழ ஒளியின் திசை வேகத்தில் நடைபெறுகிறது. சிறிய பருமன், துரிதமுறை ஆகியவற்றின் கூட்டுப் புழல் செய்கை, இணைப்பு வேகத்தை (switching speed) வெகு துரித முறையில் நடைபெறும்படி செய்கிறது. மேலும் இது அதிக அதிர்வெண் களில் நம்பத்தக்க முறையிலும் நடைபெறுகிறது. டயோடு பல்வேறு வெப்பநிலைகளில் இயங்குவதுடன் கூட டிரான்சிஸ்டர்

களை விடக் கதிர்வீசல் நுட்பம் குறைந்ததாகவும் உள்ளது. புழல் டயோடு மிகக் குறுகிய நேரத்தில் மிக அதிக மின்னோட்டம் நிகழ்ந்தாலும் பாழடைவதில்லை. ஈரம், வளி மண்டல வாயுக்கள் ஆகியவற்றினாலும் அதனுடைய குணங்களும் சிறப்பியல்புகளும் பாதிக்கப்படுவதில்லை. எனவே இவை டிரான்சிஸ்டர்களைப்போல் காப்பிடப்பட வேண்டிய அவசியம் இல்லை. புழல் டயோடுகளை மிகச் சிறியனவாகவும், மிக இலேசானவையாகவும் டிரான்சிஸ்டர்களைவிட மிகக் குறைந்த இடத்தில் வைக்கக் கூடியனவாகவும் செய்யலாம். இக்காரணங்களுக்காக புழல் டயோடுகள் ராடார் வானியல் ஆராய்ச்சிகளிலும், விண்வெளிக் கலங்களிலும் பெருமளவு பயன்படுகின்றன.

மேலே கண்ட அனுகூலங்கள் இருந்தபோதிலும் புழல் டயோடுகளில் கீழ்க்கண்ட குறைபாடுகளும் காணப்படுகின்றன.

(i) புழல் டயோடுகள் இருமுனைக் கருவிகளாகும் அதாவது அகவாய், புறவாய் இரண்டிற்கும் அதே முனைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எனவே புழல் டயோடு ஒரு திசைக் கருவியாகாது. பல்வேறு புழல் டயோடுகளைத் தொடர் முறையில் இணைப்பதற்குத் தகுந்த ஒரு திசைச் சுற்று அமைக்கப்பட வேண்டும்.

(ii) வலுவான நேர்கோட்டு வடிவமற்ற முறையில் உள்ள பண்பியல்பு வழியாகவே புழல் டயோடு இலாபத்தை உண்டாக்கி அலைவுகளை ஏற்படுத்த முடியும். இதனால் சிதைவும், போலியான அலைவுகளும் நிகழ்கின்றன. இவை பொதுவாக மற்ற வகைப் பெருக்கிகளில் உண்டாவதில்லை.

(iii) புழல் டயோடு தற்பொழுது நார்பு மின்னழுத்தம், சைகை மின்னழுத்தம் ஆகிய இரண்டிற்குமே மிகக் குறைந்த மின்னழுத்தக் கருவியாகும். நார்பு மின்னழுத்தம் குறைவாக இருப்பது சில வேளைகளில் சாதகமாக இருக்கலாம். ஆனால் சைகை மின்னழுத்தம் குறைந்தால் குறை திறன் இயங்கு முறைகளில் இடையூறு ஏற்படும் பொதுவாக, திறன் அதிகரிக்க வேண்டுமானால் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கவேண்டும். இது இப்பொழுது கிடைக்கும் சந்திப்புகளில் நடைபெற முடியாது.

(iv) மின் எதிர்ப்பு மட்டங்கள் மிகவும் குறைவாகும். அதாவது 10-50 ஓம்களாகும். இதனால் சில இடையூறுகள் ஏற்படுகின்றன.

மேலே கூறப்பட்ட நற்பண்புகளும், குறைபாடுகளும் புழல் டயோடுகளைப் பயன்படுத்தும்பொழுது கவனத்தில் கொள்ளப்பட

வேண்டும். குறிப்பாக இராணுவச் சாதனங்களிலும், விண்வெளிக் கலங்களிலும் நிலைத்த தன்மை முக்கியமாதலால் அதற்கேற்ற வகையில் புழல் டயோடுகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

புழல் டயோடுகளில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்களினால் 2000 மெகா சுற்றுகள் அதிர்வெண்ணையுடைய மூலங்களைப் பெற முடிகிறது. காலியம் ஆர்சினைடு கலவை-சந்திப்புப் புழல் டயோடுகள், உச்ச மின்னோட்டம் 200 $mA$-ம், உச்ச மின்னோட்டத்திற்கும் சிறும மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள தகவு 10 ஐவிட அதிகமாக இருக்கும்படியும் அமைந்துள்ளன. அவைகளின் வேகக் குறிகாட்டிகள் 10-லிருந்து 25 $mA/PF$ வரை மாறுபடுகின்றன. இணை மாற்றுத் தொடர் மின் தடைகள் 0·5 — 0·8 ஓம்கள் வரை மாறுபடுகின்றன. அவை சிறிய மாத்திரை வடிவக் கட்டுகளில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. அவைகளின் மின் தேக்குத் திறன் 0·4 $PF$ ஆகவும், மின் நிலையம் 250 $pH$ ஆகவும் உள்ளன. இதையொத்த வேறொரு நிலையான அதிவேகப் புழல் குழாய் 0·4 $nH$ ஐயும், மிகக் குறைந்த மின்தேக்குத் திறன் 0·12 ஐயும் கொண்டு உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. அண்மைக் காலத்தில் இந்தப் புழல் குழாய்கள் வெகுவாக முன்னேற்றமடைந்துள்ளன.

ராடார் வானியல் பகுப்பான்களிலும், விண்வெளி ஆராய்ச்சிக் கலங்களிலும், குறைக் கடத்தி டயோடுகளுடன்கூட டிரான்சிஸ்டர்களும் பெரும்பாலும் மின் குழாய்களுக்குப் பதிலாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. டிரான்சிஸ்டர்களின் அடிப்படைத் தத்துவங்களை இங்கு விவரிக்கத் தேவையில்லை. ஜெர்மானியம் டிரான்சிஸ்டர்கள் உயர் அதிர்வெண்களில் இன்றும் பெருமளவு பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு வாட் $r. m. s.$ திறனையும் புறவாயில் 1,000 மெகா சுற்றுகளில் 30% பயனுறு திறனையும் உடைய புதிய டிரான்சிஸ்டர்கள் சமீப காலங்களில் உபயோகத்திற்கு வந்துள்ளன. குறைந்த திறனில் 3,000 மெகா சுற்றுகள் வரையில் இயங்கக் கூடிய $M$ 2107 டிரான்சிஸ்டர்களும் உபயோகத்தில் உள்ளன. கம்ப்யூட்டர்களில் பயன்படுவதற்கு அதிவேக நடுத்தரத் திறனையுடைய ஜெர்மானியம் $N-P-N$ டிரான்சிஸ்டர்கள் இணைப்புக்காக உபயோகிக்கப்படுகின்றன. இந்த டிரான்சிஸ்டர்கள் $10 \times 10^{-9}$ வினாடிக்கும் ($10n$ வினாடி) குறைந்த நேரத்தில் 20 ஓம் மின் தடை வழியாக ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தை உண்டாக்குகின்றன. ஸ்பிரேக் எலெக்ட்ரிக் கம்பெனியார், மின் வேதியியல்-விரவல் ஏற்பி ஜெர்மானியம் டிரான்சிஸ்டரை உருவாக்கியுள்ளனர். இது $\frac{1}{2}$ ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தையும், $\frac{3}{4}$ வாட் திறனையும் உண்டாக்கவல்லது. பட்டை அகல இலாபம் 400 மெகா சுற்று

களாகும். ஏற்பிக்கும், வெளிவிடுவானுக்கும் உள்ள தெவிட்டு மின்தடை 1·7 ஓம்களாகும். தேக்க எண் (storage factor) 65$n$ விநாடிகளாகும்.

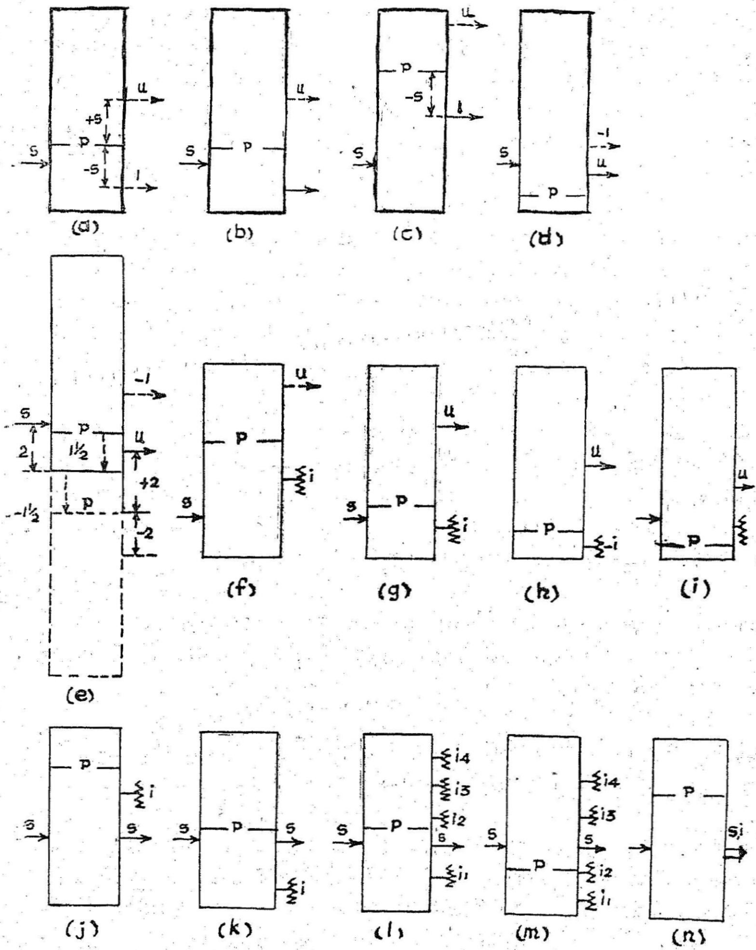
உயர் திறன்களில் இயங்குவதற்கும் குறைந்த அதிர்வெண் களிலும், வேகத்திலும், இயங்குவதற்கும் சிலிக்கன் டிரான் சிஸ்டர்கள் அனுகூலமாகக் கருதப்படுகின்றன. ஏனெனில் அவை நம்பத்தக்கனவாகவும், வெப்பநிலையை எதிர்த்து நிற்பனவாகவும் உள்ளன. காலியம் ஆர்சினைடு டிரான்சிஸ்டர்கள் ஜெர்மானியம் டிரான்சிஸ்டர் பண்புகளையும், சிலிக்கன் டிரான்சிஸ்டர் பண்பு களையும் கொண்டு இயங்குகின்றன. மேலும் திறன் டிரான் சிஸ்டர்கள் புதிய புதிய வகைகளில் தொடர்ச்சியாகச் செய்யப்படு கின்றன. வான்வெளி ஆராய்ச்சிகளுக்காகப் புதிய டிரான்சிஸ்டர் வகைகளும் உண்டாக்கப்படுகின்றன. 1960-ல் சிலிக்கன் திறன் டிரான்சிஸ்டரைக் கொண்டு 500 மில்லி வாட் ஆற்றலில் 160 மெகா சுற்றுகளில் ஒரு திறன் பெருக்கிக்கான ஒரு $VHF$ டிரான் சிஸ்டர் உண்டாக்கப்பட்டது. இது $2N$ 1506 வகையைச் சார்ந்ததாகும். இதில் 25° $C$-ல், 3 வாட்டுகள் ஆற்றல் இழக்கப் பட்டது. அலையின் பெரும அதிர்வெண் 250 மெகா சுற்று களாகும். ஓரடுக்குப் பெருக்கி (single stage) களில் 60 மெகா சுற்றுகளிலும் 4·5 $db$-களில் 3$db$ பட்டை அகலம் பெறப்பட்டது. $VHF$ டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகள் பூமியில் உள்ள அமைப்புகளில் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

மேலும், உயர் அதிர்வெண்களில் கிளைஸ்ட்ரான்களும், மேக்னட் ரான்களும் பயன்படுத்தப்பட்டன. இவைகளைப் பற்றி முன்பகுதி யில் கூறப்பட்டுள்ளது.

இனி வேரக்டார் டயோடு, மேசர், புழல் டயோடு ஆகிய வற்றின் பெருக்கிகளைப் பற்றிச் சுருக்கமாகக் காண்போம்.

சாராமாறிப் பெருக்கிகள் $f_p$ அதிர்வெண் உடைய ஒரு பம்பு மூலத்தைக் கொண்டுள்ளன. இம் மூலம் பெருக்கிக்கு ஆற்றலைக் கொடுத்து டயோடின் மின் தேக்குத் திறனை $f_p$ வீதத்தில் மாறும் படி செய்கிறது. $f_p$ உள்ளிடு சைகை அதிர்வெண், $f_s$ உடன் ஒரு குறிப்பிட்ட தொடர்புடன் இருக்க வேண்டும். மின் தேக்குத் திறன் மாறுபாடு நேர்க்கோட்டு வடிவில் இல்லாததால் $f_p$, $f_s$ ஆகியவற்றின் கூட்டு அதிர்வெண்கள் (பக்கப் பட்டைகள்) $nf_p \pm f_s$ என்ற அளவில் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. சிறிய சைகைப் பெருக்கிகள் மட்டுமே இங்குப் பயன்படுத்தப்படுவதால்

சைகை அதிர்வெண் $f_s$-ன் சீரிசை அதிர்வெண்களை (harmonies) தள்ளிவிடலாம். $f_p$-ன் சீரிசை அதிர்வெண்கள் முதன் வரிசை (first order) யாக இருந்தால் மேற் புறத்தில் $(f_p + f_s)$-ம் கீழ்ப் புறத்தில் $(f_p - f_s$ -ம் கிடைக்கக் கூடிய வெளிவரு அதிர்வெண்




படம் 32·2.

சாராமாறிப் பெருக்கிகள், மாற்றிகள் ஆகியவற்றின் திட்ட வரைபடம்.

(a) மேல்பக்கப்பட்டை மேல்மாற்றி

(b) கீழ்ப்பக்கப்பட்டை கீழ்மாற்றி

(c) கீழ்ப்பக்கப்பட்டை மேல்மாறறி

(d,e) மேல்பக்கப்பட்டை கீழ்மாற்றிகள்

(f, i) மேல்பக்கப்பட்டை மேல்மாற்றிகள் (இணைப்பான்களுடன்)

(j-n) சாராமாறிப் பெருக்கிகள்

களாகும். கிடைக்கக் கூடிய பல்வேறு நிலைகள் திட்ட வரைபட முறையில் படம் 32·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

படத்தில் செவ்வகங்கள் வேரக்டார் சுற்றுகளையும் அவற்றுடன் சேர்ந்த சுற்றுகளையும் குறிப்பிடுகின்றன. உள்ளிடு அதிர்வெண் இடப் புறத்திலும் வெளிவரு அதிர்வெண்கள் வலப் புறத்திலும் உள்ளன. செவ்வகத்தின் உள்ளே உள்ள கோடு பம்பு அதிர்வெண் $P$ ஐக் குறிக்கிறது. சாராமாறி மாற்றிகள் (parametric convertors) சாராமாறி பெருக்கிகளிலிருந்தும் மாறுபட்டவை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. சைகை அதிர்வெண்ணை விடப் புறவாய் அதிர்வெண் அதிகமாக இருந்தால் மாற்றி (converter) சாராமாறி மேல் மாற்றி (up conveter) என அழைக்கப்படும். சைகை அதிர்வெண்ணைவிடப் புறவாய் அதிர்வெண் குறைவாக இருந்தால் சாராமாறிக்குக் கீழ் மாற்றி என்பது பெயர். ஒரு சாராமாறிப் பெருக்கிக்கு அகவாய் அதிர்வெண்ணும், புறவாய் அதிர்வெண்ணும் சமமாக இருக்கின்றன. சாராமாறிக் கருவிகளில் நேர்க்குறி, எதிர்க்குறி அதிர்வெண்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இக் குறியீட்டு முறை படம் 32·2-ல் உபயோகப்படுத்தப் பட்டுள்ளது. சைகை அதிர்வெண்ணிற்கும், பல்வேறு தொகுப்பு அதிர்வெண்களுக்கும் இடையே திறன் பங்கீட்டைக் கணக்கிடும் பொழுது மேன்லி ரௌ (Manley Rowe) சமன்பாடுகளைப் பயன் படுத்தலாம். இச்சமன்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்ட முறையில் எழுதலாம்.

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{P_n}{n f_P + f_s} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

முதல் வரிசைப் பக்கப் பட்டைகளுக்கு மட்டும் கணக்கிடும்பொழுது $n$-ன் மதிப்புகள் $+1, 0, -1$ ஆகும். எனவே சமன்பாடு (1) ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{-P_{-1}}{-f_P + f_s} + \frac{P_0}{f_s} + \frac{P_{+1}}{f_P + f_s} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

மேலே கண்ட சமன்பாட்டைக் கீழே கொடுக்கப்பட்ட முறையிலும் எழுதலாம்.

$$\frac{P_{-1}}{f_P - f_s} + \frac{P_0}{f_s} + \frac{P_{+1}}{f_P + f_s} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

இதிலிருந்து $n = -1$ என்று ஆகும் பொழுது கீழ்ப்பட்டை அதிர் வெண் $(f_p - f_s)$-ம் $n = +1$ ஆகும்பொழுது மேல்பட்டை அதிர் வெண் $(f_p + f_s)$-ம் கிடைக்கின்றன என்று தெரிகிறது. $P_{-1}$-க்குள்ள எதிர்க்குறி கீழ்ப்பட்டையின் அதிர்வெண்ணின் திறன் மேல் பக்கப் பட்டையின் அதிர்வெண்ணின் திறன் ஓடும் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் ஓடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. சைகை அதிர்வெண்ணிற்குச் சமன்பாட்டைத் தீர்க்கும்பொழுது,

$$P_0 = \frac{-f_s}{f_p + f_s} P_{+1} + \frac{f_s}{f_p - f_s} P_{-1} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

என்று கிடைக்கிறது.

அகவாய்த் திறனும், மேல்பக்கப்பட்டைத் திறனும் எதிர்க் குறியைப் பெற்றுள்ளன என்பது (4)-லிருந்து தெரியவருகிறது. இதிலிருந்து அமைப்புக்குள் சைகைத் திறன் $f_s$ அதிர்வெண்ணில் ஓடினால் அது அமைப்பை விட்டு $f_p + f_s$ அதிர்வெண்ணில் வெளி வரும் என்பது தெளிவாகிறது. இருந்தபோதிலும் கீழ்ப்பக்கப் பட்டை அதிர்வெண்ணில் திறன் அகவாய்த் திறனின் குறியையே பெற்றுள்ளது. எனவே திறனை இந்த அதிர்வெண்ணிலேயே கொடுக்க வேண்டும் என்பது தெரிகிறது. $f_p$, $f_s$ ஐவிட அதிகமாக இருக்கும்பொழுது திறனை, சைகை அதிர்வெண்ணிலும் கொடுக்க லாம். இது குறியீடு மூலமாகச் செவ்வகங்கள் $a$-லிருந்து $e$ வரை காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு வகையிலும் புறவாய்ப் பக்கம் ஒரு தொடர் அம்புக் குறி, ஒரு கீறு பிரிக்கப்பட்ட (dashed) அம்புக் குறி ஆகியவற்றால் காட்டப்பட்டுள்ளது. தொடர் அம்புக் குறி புற வாய்ச் சுற்று இசைவிக்கப்படும் அதிர்வெண்ணையும், சுற்றிலிருந்து திறன் வெளியே செல்ல வேண்டிய அதிர்வெண்ணையும் குறிக் கின்றது. கீறு பிரிக்கப்பட்ட அம்புக் குறி திறன் பரிமாற்றம் இல்லாத மற்றொரு பக்கப் பட்டையைக் குறிக்கிறது.

எளிய சாராமாறிப் பெருக்கி முறையீடுகள் மூலமாகச் செவ்வகங்கள் $j - K$ ஆகியவற்றில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அது ஒரே ஒரு வேரக்டார் டயோடைப் பயன்படுத்துகிறது. அதில் $f_p - f_s$-ல் ஒரே ஒரு கீழ்ப்பட்டை அதிர்வெண்தான் உள்ளது. இதில் உண்மையான பெருக்கித் தொழில் நுட்பமுறை மிகவும் சிக்கல் நிறைந்ததாகும். இந்தப் பெருக்கிக்கு,

$$f_s (f_p - f_s) (r_s + r_i) < m_1^2 R_s f_c^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

என்ற சமன்பாடு பொருந்துகிறது. ஆற்றல் இழப்பு இல்லா விட்டால் (அதாவது $j = 0$)

$$f_s (f_p - f_s < m_1^2 f_c^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

என்றுகிறது. இச் சமன்பாடுகளில் வேரக்டார் டயோடுகளின் சிறப்பியல்புகள் பண்பேற்றத்தகவு $m_1$ ஆலும், வெட்டுநிலை அதிர் வெண் $f_c$ ஆலும் குறிக்கப்படுகின்றன. மேலும்,

$$m_1 = \frac{|S_1|}{S_{\text{பெருமம்}} - S_{\text{சிறுமம்}}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{(S_{\text{பெருமம்}} - S_{\text{சிறுமம்}})}{R_s} \quad \ldots \quad (8)$$

$S_{\text{பெருமம்}}$, $S_{\text{சிறுமம்}}$ என்பவை பம்பு வோல்ட் மாறும்பொழுது வேரக்டார் மின்னிறக்கத்தின் பெரும, சிறும மதிப்புகளாகும்.

( $|S_1|$ ) என்பது பம்பு அதிர்வெண்ணின் குறைந்த மதிப்பில் வேரக்டார் மின்னிறக்கத்தின் மதிப்பாகும். $R_s$ என்பது வேரக்டார் டயோடின் இணைமாற்றுச் சுற்றின் தொடர் மின்தடையாகும். மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாடுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட சைகை அதிர்வெண்ணிற்குப் பம்பு அதிர்வெண்ணின் உச்ச மதிப்பு ஓர் எல்லையை வகுக்கின்றன. சிறும மதிப்பு சைகை அதிர்வெண்ணின் மதிப்பேயாகும். ஏனெனில் செவ்வகங்கள் $J$, $K$ ஆகியவற்றில் காட்டப்பட்டுள்ள எளிய சாராமாறிப் பெருக்கிகள் சைகை அதிர் வெண்ணைவிட அதிகமான பம்பு அதிர்வெண்ணில்தான் இயங்க முடியும்.

கூடுதலான கீழ்ப்பட்டை அதிர்வெண்களுடைய பெருக்கிகள் $l$, $m$ செவ்வகங்களில் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவைகள் பல்வேறு பம்பு, சைகை அதிர்வெண்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவை எளிய சாராமாறிப் பெருக்கியைவிடப் பல விதங்களில் சிறந்தன வாகும். செவ்வகம் $m$, பல கீழ்ப்பட்டை அதிர்வெண் வேரக்டார் பெருக்கிகளைக் காண்பிக்கிறது. இது, சில சூழ்நிலைகளில், பம்பு அதிர்வெண், சைகை அதிர்வெண்ணைவிடக் குறைவாக இருக்கும் பொழுதும் இயங்குகிறது. வேரக்டார் டயோடுகள் எளியன வாகவும் உருவில் சிறியனவாகவும் இருப்பதால் பல டயோடுகளை ஓர் இயங்கு குழாய் அலைவழிகாட்டி அமைப்பில் தகுந்த இடங் களில் அமைத்து ஒரு பல அடுக்குச் சாராமாறிப் பெருக்கியை அமைக்கலாம். படம் 32·2-ல் கடைசிச் செவ்வகம் $n$ ஒரு தனி வகையைச் சேர்ந்த ஒரு சாராமாறிப் பெருக்கியைக் குறிக்கிறது. இதில் $f_p = 2f_s$ ஆகும். இதற்குச் சிதைந்த சாராமாறிப் பெருக்கி (degererate parametric amplifier) என்பது பெயர். இதிலிருந்து

மாறுபட்ட சாராமாறிப் பெருக்கிகளை, அதாவது கீழ்ப் பட்டை அதிர்வெண்ணுக்கும், சைகை அதிர்வெண்ணுக்கும் தனித்தனி யான வரம்புகளையுடைய பெருக்கிகளைச் சிதைவற்ற பெருக்கிகள் (non-degenerate amplifiers) என்று அழைப்பது வழக்கமாகும். சிதைந்த அல்லது சிதையாத பெருக்கி என்பது பம்பு அதிர் வெண்ணை அல்லாமல், வெளிப்புறச்சுற்றுகளைப் பொறுத்தே அமை யும். சுற்று, சைகைத் திறனிலிருந்துகீழ்ப் பட்டைத் திறனை அதே அதிர்வெண்ணில் கூடப் பிரித்தெடுக்குமானல், பெருக்கி, சிதை வற்ற பெருக்கி என அழைக்கப்படும். இதை இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட வேரக்டார்களையுடைய சுற்றுகளினுல் பெறலாம்.

இப்பொழுது மேசர் பெருக்கிகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம். மேசரைப் பற்றிய தத்துவங்கள் வேறொரு பகுதியில் கூறப்பட் டுள்ளது. சாராமாறிப் பெருக்கியைப் போலவே மேசர் பெருக்கி யிலும் ஒரு பம்பு மூலம் வேண்டும். இதனுடைய அதிர்வெண் 10,000 — 20,000 மெகா சுற்றுகள் வரையில் மாறுகிறது. இத னுடைய மைக்ரோ அலை வெளிவரு அளவு குழிவகை மேசர் களுக்கு 30-40 மில்லி வாட்டுகள் வரை மாறுகிறது. இயங்கு அலை மேசர்கள் 100 மில்லி வாட்டுகள் வரை 30,000 மெகா சுற்றுகளைக் கொண்டுள்ளன. இதில் பம்பு மூலம் சாதாரணமாகக் கிளைஸ்ட்ரான்களாகும். இதில் ஒரு படிகத்தால் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட *VCO* (voltage contralled oscillator)வும், பம்பு மூலத்தை இயக்கு வதற்கு ஓர் அதிர்வெண் பெருக்கியும் பயன்படுகின்றன. மேலும் காந்தத்தையும், காந்தவூட்டச் சுற்றையும் கவனமாகக் கணிக்க வேண்டும். இதில் பயன்படும் காந்தமானது ஒரு சிறிய நிலைத்த காந்தமாகும். இதைப் பெருக்கியின் உள்ளேயே வைக்கலாம். பெருக்கியின் எடை 15-லிருந்து 30 பவுண்டு வரை இருக்கும். காந்தத்தைத் தேவார் (Dewar) குடுவைக்கு வெளியில் வைத்தால் மொத்த எடை 100-லிருந்து 300 பவுண்டு வரை இருக்கும். மேசரை இயக்குவிக்கும்பொழுது காந்தத்தைச் சுற்றியுள்ள ஓர் இரட்டைக் கம்பிச் சுருள் காந்தப்புல மாறுபாட்டைக் கொடுக் கிறது. இந்தக் கம்பிச் சுருள்களுக்கு டிரிம்மர் (Trimmer) சுருள் என்பது பெயர். தொடக்கத்தில் தொடர்ச்சியான டிரிம்மர் சுற்றுக்கு ஒழுங்கு படுத்தப்பட்ட ஒரு திசை மின்னழுத்தமே பயன் பட்டது. தற்பொழுது இரு திசை மின்னேட்டத் துடிப்புகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேசர் பெருக்கி மிகவும் நுட்பம் வாய்ந்ததாகையால் இதை மிகக் கவனத்துடன் திட்டமிட்டுச் செய்யவேண்டும். அகவாய் அலை வழிகாட்டிகள் மிகவும் நீளம் குறைந்தவையாக இருக்கவேண்டும். பம்பு மூலத்திற்கும், மேசர்

அமைப்பிற்கும் இடைப்பட்ட இணைப்புகள் ஆற்றல் விரைய மாவதைத் தடுக்க, குறுகியவையாக இருக்கவேண்டும். பம்பு மூலத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் சுற்றுகள், காந்தத்தைக் கட்டுப் படுத்தும் சுற்றுகள் ஆகியவற்றை ஒன்றுக்கொன்று தொலைவில் தனித்தனி அறைகளில் வைக்கவேண்டும். ரேடியோ அதிர்வெண் சுற்றுகளை அமைப்பதில் அதிகக் கவனம் செலுத்தவேண்டும். ஏனெனில் குழி மேசர் ஒரு தனி வகை அமைப்பாகும். புறவாய், அகவாய் சுற்றுகள் தனித்தனியாக அமைக்கப்பட வேண்டும். இவைகளை மேசர் பெருக்கிகளை அமைக்கும்பொழுது கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

புழல் டயோடு ஒரு திண்ம நிலை (solid state) கருவியாகும். இதைப்பற்றி முன்பு சிறிது பார்த்தோம். ஏற்பி சுற்றிகளில் புழல் டயோடுகளை எதிர் மின் தடைப் பெருக்கிகளாகவோ அல்லது பெருக்க மாற்றிகளாகவோ உபயோகப்படுத்தலாம். புழல் டயோடுப் பெருக்கியைச் சாதாரண வெப்பநிலைகளில் ஒரு பம்பு மூலம் இன்றியே பயன்படுத்தலாம். இது ஒரு நன்மையாகும். இது ஓர் எதிர் மின் தடைக் கருவியாகச் செயல்படுவதால் இதன் அதிக இரைச்சல் வெப்பநிலை ஓர் இடையூறாகும். மேலும் இதற்குக் கூடுதலான சுற்றுப் பகுதிகளும் தேவைப்படும்.

எதிர் மின்தடைப் பெருக்கிகளில் இரண்டு அடிப்படை வகைகள் உள்ளன.

(i) செலுத்துகை வகை (Transmission type)

(ii) எதிரொளிப்பு வகை (Reflection type)

இவற்றை முறையே தொடர் அமைப்புப் பெருக்கி, இணை அமைப்புப் பெருக்கி என்று அழைக்கின்றனர். ஆன்டென்னாவி லிருந்து புழல் டயோடுக்குச் செல்லுகின்ற வலுக் குறைந்த படு சைகைகளை, புழல் டயோடிலிருந்து அடுத்த நிலைக்குச் செல்லு கின்ற வலுவான பெருக்கப்பட்ட சைகைகளிலிருந்து பிரிக்கின்ற முறைகளில் இவை மாறுபடுகின்றன. டயோடு இரு முனைக் கருவி யாதலால் அது அடிப்படையில் இருபக்க அமைப்பாகும். (bilateral) அதாவது புறவாயும், அகவாயும் ஒரே முனைகளில் தோன்று கின்றன.

இந்தப் பெருக்கிகளை, மற்றக் குறை இரைச்சல் பெருக்கிகளுடன் ஒப்பிடும்பொழுது, அவ்வளவு சிறந்தவை எனக் கூறமுடியாது. எனினும் இவைகளின் சிறிய உருவம், குறைந்த எடை, குறைந்த

இரைச்சல், குறிப்பாக 1000 மெகா சுற்றுகளுக்கும் அதிகமான அதிர்வெண்ணில் இரைச்சல் குறைவு ஆகியவை இவற்றைச் சிறந்த பெருக்கிகள் எனச் செய்கின்றன. புழல் டயோடுகளில் அடிப்படை அலைவுகள் 60,000 மெகா சுற்றுகளுக்கும் அதிகமான அதிர்வெண் களில் காணப்படுகின்றன.

வேரக்டார் டயோடுகளுடன் ஒப்பிடும் பொழுது புழல் டயோடுகள் அவ்வளவு சிறந்தவை அல்ல. இதற்குக் காரணம் மைக்ரோ அலை அதிர்வெண்களில் ஜெர்மானியத்தில் உள்ள தாக்கு இரைச்சலேயாகும் (shot noise). குழி வகைப் பெருக்கிக்கு இரைச்சல் வெப்பநிலைக்கான கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு இரைச்சல் வெப்பநிலையை எவ்வாறு குறைக்கலாம் என்பதைக் காட்டுகிறது.

$$T_e = \frac{(\sqrt{G} + 1)^2}{G} \left[ T_c \left(\frac{R_c}{R_l}\right) + e \frac{I_0}{2K} R \left(\frac{R_1}{R_l}\right) \right] \cdots (9)$$

இங்கு,

$G$ — பெருக்கியின் திறன் இலாபம்.

$T_e$ — குழி, டயோடு ஆகியவற்றின் வெப்பநிலை (கெல்வினில்).

$R_c$ — டயோடு, பரவு மின்தடை, தொடு மின்தடை ஆகியவற்றுடன் குழியின் இழப்பு ஆகியவற்றின் தொகுப்பு மின்தடை.

$R_l$ — பளு மின்தடை (load resistance)

$R$ — டயோடு பண்பியலில் எதிர்மின் தடையின் தனி மதிப்பு (ஓம்களில்)

$R_1$ — புழல் டயோடு, தான் ஒத்திசையும் பொழுது கிடைக்கும் செயலுறு எதிர் மின்தடை.

$e$ — எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.

$I_0$ — தொழிற்படு புள்ளியில் நூர்பு மின்னூட்டம்.

$K$ — போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி.

அதிக அளவு புறவாய் மின்னழுத்தத்திற்கு $R$ அதிகமாக இருக்க வேண்டும். ஆனல் $T_e$ குறைவதற்கு $R$ குறைவாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே $G$ என்பது $R$-ன் ஒரு சார்பலன் என்பதும், $R$ என்பது நூர்பு மின்னழுத்தம், சைகை வீச்சு ஆகியவற்றின்

சார்பலன் என்பதும் குறிப்பிடத்தக்கது $R_1$-ன் மதிப்பை $R$, டயோடு மின்தேக்கியின் செயலுறு மின்தேக்குத் திறன் $C$ ஆகியவற்றின் மதிப்பிலிருந்து கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறலாம்.

$$R_1 = \frac{R}{\omega_0{}^2 R^2 C^2} = \frac{1}{\omega_0{}^2 R_e{}^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

சமன்பாடு (9) அதிக அளவு இலாபம் சிறந்தது எனக் காட்டுகிறது. ஏனெனில் இதில் முதல் பகுதி $G$-ன் மிக அதிகமான மதிப்புகளுக்கு ஒன்றை (unity) நோக்கி $G$ உடன் அணுகுக் கோட்டு முறையில் (asymptotic) குறைகிறது. தாக்கு இரைச்சல், $I_0$ என்ற உறுப்பின் வழியே கிடைக்கிறது. பெருக்கற் பலன் $I_0 R$ சிறியதாக இருந்தால் இரைச்சல் வெப்பநிலையும் சிறுமமாகும். புழல் டயோடு பண்பியலில் தொழிற்படு புள்ளியைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கு இது ஒரு விதியாகும். சிறிய ஆற்றல் இடைவெளிகளையுடைய குறைக்கடத்திகளுக்கு இப் பெருக்கற்பலன் இயற்கையிலேயே சிறியதாகும். $R_1/R_l$ தகவு எப்பொழுதும் ஒன்றைவிடப் பெரியதாகும். ஆனல் குழி இழப்பு (cavity loss) அதிகமாக இருக்கும்பொழுது அதன் மதிப்பு ஒன்றையடையும். பெருக்கற்பலன் $RC$ சிறியதாக உடைய டயோடுகளில் குழி இழப்புக் குறையும்பொழுது $\frac{R_1}{R_l}$-ன் தகவு ஒன்றை நோக்கி விரைவாக அதிகரிக்கின்றது. உறுப்பு $\frac{eI_0 R}{2K}\left(\frac{R_1}{R_l}\right)$ என்பது பெருக்கிக்குத் தாக்கு இரைச்சல் $\frac{eI_0 R}{2K}$ ஐ விட எப்பொழுதும் அதிகமாக இருக்கும் என்பதைக் காட்டுகிறது. ஆனல் இந்த அதிகரிப்பு சிறிதளவே இருக்கும். $RC$-ன் மதிப்பு குறையும்பொழுது மொத்த இரைச்சல் வெப்பநிலைக்குக் குழி இழப்புப் பங்குகொள்ளும் அளவும் குறைவாக இருக்கும்.

## படித்தற்குரிய நூல்கள்


1. Tunnel Diode as High Frequency Devices

   — *By H. S. Sommerg*

2. Germanium and Silican Tunnel Diodes

   — *By I. A. Lesk*

3. Basic theory and applications of Tunnel Diode
   — *By S. P. Gentile*

4. Varactor Applications
   — *By P. Penfield and R. P. Rafuse*

5. Semi-conductor Diode parametric Amplifiers
   — *By L. A. Blackwell and K. L. Kotzbue*

6. The Age of Electronics
   — *By C. F. J. Ovcrhase*

7. The Physical Theory of Transistors
   — *By L. B. Baldes*

8. Space Communication Techniques
   — *By Richard F. Filipowsky*

# 33. ராடார் வானியலில் வாய்ப்புகள்

## (Careers in Radar Astronomy)

ராடார் வானியல் நிபுணர் ஒருவர் எத்தகைய ஆணாக அல்லது பெண்ணாக இருக்கவேண்டும்? நிச்சயமாக அவர் ராடாரினாலும், வானிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ சைகைகளினாலும், அண்டங்கள், கோள்கள், விண்மீன்கள், சுருங்கச் சொன்னால் படைப்பின் மிகவும் அதிசயமான பிரபஞ்சத்தினாலும் வியப்படையக்கூடியவராக இருக்க வேண்டும். ஆனால் அவ்வாறு வியப்படைவதே எளிதான காரியமல்ல. அவர் ஓர் உண்மையான ராடார் வானியல் நிபுணராக இருக்க வேண்டுமானால், அதாவது, ராடார் வானியலின் திட்டம், திட்டங்களை நிறைவேற்றல், சைகைகளைப்பகுத்தல் ஆகியவற்றில் தம்முடைய கடமையைத் திறம்படச் செய்யவேண்டுமானால், அவர் ஒரு தகுதி வாய்ந்த விஞ்ஞானியாக, ஓர் இயற்பியல் வல்லுனராக இருக்கவேண்டும். அவருக்குக் கணிதம், வானியல், ரேடியோ, மின்சாரம், ஒளி, எலெக்ட்ரானியல், ராடார் ஆகியவற்றைப்பற்றியெல்லாம் நன்கு தெரிந்திருக்க வேண்டும். உலகில் உள்ள பல்வேறு ராடார் நிலையங்கள், பல்கலைக் கழகங்களால் நடத்தப்படுகின்றன. ஆகவே அவர். பல்கலைக்கழகத்தின் ஓர் உறுப்பினராகவும், ராடார் வானியலை ஆராய்வதுடன்கூட, பட்டப் படிப்பு, பட்ட மேற்படிப்பு, ஆராய்ச்சித்துறை ஆகியவற்றில் பயிலும் மாணவர்களுக்குப் பாடம் சொல்பவராகவும் இருக்க வேண்டும். அதாவது இயற்பியலில் ஒரு பட்டம் மட்டும் இருந்தால் போதாது. அவர் ஒரு மிகச் சிறந்த விஞ்ஞானியாக விளங்க வேண்டும். தம்முடையப் பல்கலைக்கழகத் தேர்வுகளில் மிக அதிக மதிப்பெண்கள் வாங்கியும், ஆராய்ச்சித் துறையில் தம்முடைய திறமையை ஐயமின்றி நிரூபித்தும் இருக்கவேண்டும்.

இவையெல்லாம் மிக மிகக் குறைவான அடிப்படைத் தேவைகளாகும். உண்மையான ராடார் வானியல் நிபுணராக விளங்க விரும்புபவர் உண்மையிலேயே சிறந்து விளங்க வேண்டும்.

அவருக்கு அதிக அளவில் கற்பனையும், நன்ருகச் சிந்திக்கும் ஆற்றலும், ரேடியோ விண்மீன்களிலிருந்து வருகின்ற சைகைகளைப் புதிய முறையில் பகுக்கும் திறனும், புதிய செய்திகளை உணர்ந்தறியும் மதி நுட்பமும் ஆர்வமும் வேண்டும்.

ஒரு மிகச் சிலரே இந்தத் துறைக்கு வர இயலும். இதுவேதான் ரேடியோ, வானியல், ஒளி வானியல், ராடார் வானியல் ஆகிய துறைகளுக்குத் தேவையுமாகும். பாலோமரில் உள்ள 200 அங்குலத் தொலைநோக்கியை எல்லோரும் உபயோகப்படுத்த அனுமதிப்பதில்லை. திறமை, புத்திகூர்மை, பொறுமை உள்ளவர்கள் மட்டுமே அதைப் பயன்படுத்த அனுமதிக்கப்படுகின்றனர் வானியல் நிபுணர்கள் கணிதத்தில் சிறந்து விளங்கவேண்டும். ரேடியோ வானியலிலும், ராடார் வானியலிலும் இது அவ்வளவாகத் தேவையில்லை. எனவே இயற்பியலில் ஒரு பட்டத்திற்காக நாம் மிகவும் ஆழ்ந்து படிக்கவேண்டும். பிறகு எலெக்ட்ரானியலையும், ராடாரையும் பற்றி விரிவாகத் தெரிந்து கொள்ளவேண்டும்.

நம் நாட்டில் இந்தத் துறை முற்றிலும் புதியதாகும். ராடார் வானியலே சுமார் 10 ஆண்டுகளுக்குமுன் தோன்றியதாகும். இருப்பினும் மற்ற நாடுகளுடன் ஒரு நிலையில் நாம் விளங்குவதற்கு இத் துறையில் முன்னேற்றங் காண வேண்டும்.

# பிற்சேர்க்கை—I

## வாயு நெபுலாக்களின் அமைப்பும், வான் மீனிடை வெளி ஊடகமும்

அணு மூலகங்கள், வெப்பமான வாயு நெபுலாக்களில் இருப்பதாகத் தெளிவாகக் கூறப்படுகிறது. நமது விண்மீன் கூட்டத்தின் இடைவெளிகளில் உள்ள ஊடகம் வெப்பமான வாயுக்களால் ஆனது. கீழே கொடுக்கப்பட்ட அட்டவணையில் இந்த வாயுக்களின் செழிப்புகள் (abundances) பார்வை புலன் சூரியனிலும், சாதாரண விண்மீன்களிலும் காணப்படும் மூலகங்களோடு ஒப்பிடப்பட்டுள்ளது.

| மூலகம் (Element) | வாயு நெபுலாக்கள் | வான் மீனிடை-வெளி வாயு | சாதாரண விண்மீன் |
|---|---|---|---|
| ஹைடிரஜன் | 1,000.000 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| ஹீலியம் | 100,000 | — | 70,000 |
| கரி | 160 | — | 90 |
| நைட்ரஜன் | 1,000 | — | 170 |
| ஆக்ஸிஜன் | 1,500 | — | 540 |
| நியான் | 300 | — | 590 |
| சோடியம் | 3 | 4 | — |
| கந்தகம் | 60 | — | 18 |
| பொட்டாசியம் | 0·1 (?) | 0·4 | 0·1 |
| கால்சியம் | 0 4 (?) | 10·0 | 3·0 |
| டிட்டானியம் | — | 0·2 | 0·1 |

## பிற்சேர்க்கை—II

**கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சு (Black body Radiation)**

ரேடியோ அலை நீளங்களில் கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சு விதி கீழ்க்காணும் வடிவத்தைப் பெறுகின்றது. *M. K. S.* அலகில், $\lambda$ அலை நீளத்தின் வெளிவிடும் ஆற்றல் $E_\lambda$

$$E_\lambda = \frac{2\,KT_b}{\lambda^2} \text{ வாட்டுகள் மீட்டர்}^{-2}\ c/s^{-1} \text{ ஸ்டர்ரேடியன்}^{-1}$$

(ராலே ஜீன்ஸ் வாய்பாடு)

ஆகும்.

இங்கு $T_b$ என்பது கதிர் வீச்சு வெளிவரும் பொருளின் வெப்பநிலை.

$K$—என்பது போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி ஆகும்.

ரேடியோ வானியலில், $E_\lambda$ ஐப் பொலிவு என்றும், $T_b$ ஐப் பொலிவு வெப்பநிலை என்றும் அழைக்கின்றனர்.

பூமியின்மீது, ஓரலகுப் பரப்பில் விழும் ஆற்றலே ஒரு ரேடியோ மூலத்தின் பாய அடர்த்தி (flux density) என வரையறுக்கப் படுகிறது.

$$\text{பாய அடர்த்தி } S = \left(\frac{2\,KT_b}{\lambda^2} \cdot \omega\right) \text{ வாட் } m^{-2}\ c/s^{-1}$$

$$= \left(\frac{2\,KT_b}{\lambda^2}\right) \theta^2.$$

இங்கு,

$\omega$—மூலத்தால் தாங்கப்படும் திண்மக் கோணம்; அல்லது,

$\theta$—மூலத்தின் கோணவிட்டம் ($\theta$ சிறியதாக இருக்க வேண்டும்).

இப்போழுது, அயனியாக்கம் அடைந்த ஹைட்ரஜன் பகுதி, ஒளியியல் முறைப்படி தடிமனாக இல்லாமலிருந்தால், அப்பகுதியின் பொலிவு வெப்பநிலை, கூறுகளாகிய அயனிகள், எலெக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் இயக்க வெப்ப நிலைக்குச் சமமாக இல்லாமல் இருக்கலாம்; அதாவது அப்பகுதி, முழுமையாக உட்கவர்ச்சி செய்யவோ அல்லது வெளிவிடவோ, அதிகமான அடர்த்தியைக் கொண்டும், ஆழமாகவும் இராது. இந்த நிலையில் பொலிவு வெப்பநிலை $T_B$.

$$T_B = \frac{0 \cdot 18 \times 10^{-4} \cdot N_e^2 \cdot l}{\gamma^2 \; T_e^{\frac{1}{2}}} \cdot K$$

இதில் $N_e$ — எலக்ட்ரான் அடர்த்தி.

$T_e$ — எலக்ட்ரான் வெப்பநிலை.

$l$ — அப்பகுதியின் ஆழம்.

$\gamma$ — அதிர்வெண்.

இவைகள் எல்லாம் $M.\ K.\ S.$ அலகில் சொல்லப்பட்டுள்ளன.

# பிற்சேர்க்கை—III

## தொலைவில் உள்ள பொருள்களுக்குச் செறிவு எண் தொடர்பு

$R$ பார்செக்குகள் கொண்ட ஒரு கோளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். இக் கோளத்தில், ஒவ்வொரு கன பார்செக்கிலும் $K$ விண்மீன் கூட்டங்கள் உள்ளன. ஒவ்வொரு விண்மீன் கூட்டமும் $W$ வாட்டுகள் ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. கோளத்தின் விளிம்பின் மேலுள்ள ஒரு விண் மீன் கூட்டத்திலிருந்து பூமி ஏற்கும் கதிர் வீச்சுச் செறிவு.

$$I = \frac{W}{4\pi R^2}$$

அல்லது

$$R^2 = \frac{W}{4\pi I}$$

ஆகும்.

$I$-க்குச் சமமாகவோ அல்லது அதைவிட அதிகமாகவோ செறிவைக் கொடுக்கும் விண்மீன் கூட்டங்களின் எண்ணிக்கை

$$N = \frac{4}{3}\pi R^3 K.$$

$$\text{ie.}\quad N = \frac{4}{3}\pi K\left(\frac{W}{4\pi I}\right)^{\frac{3}{2}}$$

logs எடுத்தால்

$$\log N = -\tfrac{3}{2}\log I + \text{மாறிலி}$$

மாறும் திறன்களைக் கொண்ட அதிக விண்மீன்களைக் கொண்ட அண்டங்களுக்கும் இத் தொடர்பு பொருந்தும். ஆனால் இவைகள் வான்வெளியில் ஒரே சீராகப் பங்கீடு செய்யப்பட்டிருக்கவேண்டும்.

## பிற்சேர்க்கை—IV

**ஃபாரடே விளைவு** (Faraday effect)

ஒரு காந்தப் புலத்தினுல் ஊடுருவல் செய்யப்பட்ட, ஒரு அயனியாக்கமடைந்த ஊடகத்தின் வழியாக, ஒரு தள தள விளைவுற்ற மின்காந்த அலை செல்லும் பொழுது அதனுடைய அதிர்வுத்தளம் ஒரு குறிப்பிட்ட கோண அளவு சுழற்றப்படுகிறது. இதற்கு ஃபாரடே விளைவு என்று பெயர்.

சுழற்சிக் கோணம் $\Omega = \frac{1 \cdot 35 \times 10^6 \; N_e \, . \, H \, . \, \cos\theta \, . \, l}{\gamma^2}$ டிகிரிகள்

ஆகும்.

இங்கு,

$M_e$ — 1 கன சென்டி மீட்டரில் உள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை.

$H$ — ஒயர்ஸ்டட் அலகில் காந்தப் புல வலிமை.

$\theta$ — காந்தப் புலத் திசைக்கும் அலையின் பாதைக்கும் இடையே உள்ள கோணம்.

$l$ — சென்டி மீட்டரில், ஊடகத்தின் பாதையின் நீளம்.

$\gamma$ — ரேடியோ அலையின் அதிர்வெண்.

சந்திரனில் எதிரொளிக்கப்பட்டு வரும் சைகைகளுக்குச் சுழற்சிக் கோணம் இரு மடங்காகும். ஏனெனில் அலையானது அயன மண்டலத்தில் இரு தடவை பயணம் செய்கிறது.

## பிற்சேர்க்கை—V

### டாப்ளர் பெயர்ச்சி (Doppler Shift)

ஓர் ஒளி மூலம் கதிர் வீச்சு செய்து ஒரு நிறமாலை வரியை உண்டாக்குவதாகக் கொள்வோம். அதன் அலைநீளம் $\lambda$ எனவும். ஒளியின் திசைவேகம் $c$ எனவும் கொள்வோம். ஒளி மூலத்தைப் பொறுத்து நகராமல் இருக்கும் ஒரு பார்வையாளருக்கு ஒரு வினாடியில் ஏற்கப்படும் அலைகள் $f$ எனில்,

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ ஆகும்.}$$

ஒளி மூலம், பார்வையாளரை விட்டு. $v$ திசை வேகத்தில் பின் வாங்கினால் (வினாடிக்கு $f$ அலைகளை வெளிவிடுகிறது) ஒவ்வோர் அலை முகட்டிற்கும் இடையேயுள்ள தூரம் $\lambda_1$

$$\lambda_1 = \lambda\left(1 + \frac{v}{c}\right) \text{ ஆக அதிகரிக்கும்.}$$

$$\therefore \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}.$$

இங்கு $\Delta\lambda$ அலைநீளங்களில் உண்டாகும் மாறுபாடு. அதாவது,

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda.$$

ஒளியின் திசைவேகம் $= c = 3 \times 10^5$ கிலோ மீட்டர்/வினாடி

ஆகவே $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 5\%$ ஆனால் $v = 15,000$ கிலோ மீட்டர்/வினாடி

# பிற்சேர்க்கை—VI

**டெசிபல் வரையறை**

டெசிபல் என்பது ஒரு பெருக்கியின் இலாபத்தையோ (gain) அல்லது நட்டத்தையோ (loss) அளப்பதற்கு உபயோகப்படுத்தப் பட்டுவரும் ஒரு பயனுள்ள அலகாகும். ஓர் எலெக்ட்ரானியல் அமைப்பில் ஏற்படும் இலாபத்தையோ அல்லது இழப்பையோ டெசிபலில் மிகச் சுலபமாகக் கணக்கிடலாம். டெசிபலை ஆங்கிலத்தில் சுருக்கமாக *db* என்ற எழுத்துகளால் வழக்கமாகக் குறிப்பிடுகிறோம். இந்த டெசிபல் அலகு மின் திறன் விகிதத்தை மடக்கையை (logarithm) உபயோகித்துக் கூறப்படுவதாகும். இலாபத்தையோ அல்லது இழப்பையோ கூறும் டெசிபல் எண்ணிக்கை $n$ என்பது கீழ்க் காணும் முறையில் வரையறுக்கப்படுகின்றது.

$$n = 10 \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

இங்கு

$P_1$ என்பது உள்ளிடு திறனாகும்,

$P_2$ என்பது வெளிவரு திறனாகும்.

எடுத்துக்காட்டாக,

$P_2$, $P_1$ ஐப்போல் 10 மடங்கு இருந்தால்

$n = 10db$ ஆகும்,

$P_2$, $P_1$ ஐப்போல் 1000 மடங்கு இருந்தால்

$n = 30db$ ஆகும்.

இப்பொழுது $P_2$ என்ற திறன், $E_2$ வோல்ட் மின்னழுத்தத்தில் $R_2$ என்ற புறவாய் மின் தடைக்கு வந்தால் $P_1$, $E_1$, $R_1$ என்பவை களை முறையே அகவாயில் கொடுத்தால்,

$$\text{டெசிபல் இலாபம்} = n = 10 \log_{10}\left(\frac{E_2^2/R_2}{E_1^2/R_1}\right) \quad \ldots \quad (2)$$

ஆகும்.

அதாவது, $n = 20 \log_{10}\left(\frac{E_2}{E_1}\right) + 10 \log_{10}\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ ... (3)

$R_1 = R_2$ ஆக இருந்தால்,

$$n = 20 \log_{10}\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

ஆகும்.

இரு பெருக்கிகள் முறையே $n_1, n_2$ டெசிபல் இலாபங்களைக் கொண்டிருந்தால், அவற்றின் மொத்த டெசிபல் இலாபம்

$$n_t = n_1 + n_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

ஆகும்.

எனவே, பெருக்கிகளின் அல்லது மின் சுற்றுகளின் இலாபங்களை அல்லது இழப்புகளை இயற்கணித (algebraic) முறையில் கூட்டிக் கணக்கிடப்படுகிறது.

## அட்டவணை 1.

**பெருக்கல் காரணிகளும் அவைகளின் முற்சேர்க்கையும்**
(Multiplication factors and their prefixes)

| பெருக்கல் காரணி | முற்சேர்க்கை | குறி |
|---|---|---|
| $1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$ | டிரா (tera) | *T* |
| $1\ 000\ 000\ 000 = 10^{9}$ | ஜிகா (giga) | *G* |
| $1\ 000\ 000 = 10^{6}$ | மெகா (mega) | *M* |
| $1\ 000 = 10^{3}$ | கிலோ (kilo) | *K* |
| $100 = 10^{2}$ | ஹெக்டோ (hecto) | *h* |
| $10 = 10^{1}$ | டெக்கா (deca) | *da* |
| $0{\cdot}1 = 10^{-1}$ | டெசி (deci) | *d* |
| $0{\cdot}01 = 10^{-2}$ | சென்டி (centi) | *c* |
| $0{\cdot}001 = 10^{-3}$ | மில்லி (milli) | *m* |
| $0{\cdot}000\ 001 = 10^{-6}$ | மைக்ரோ (micro) | *μ* |
| $0{\cdot}000\ 000\ 001 = 10^{-9}$ | நானே (nano) | *n* |
| $0{\cdot}000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$ | பைக்கோ (pico) | *p* |
| $0{\cdot}000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$ | ஃவெம்டோ (vemto) | *f* |
| $0{\cdot}000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$ | அட்டோ (atto) | *a* |

## அட்டவணை 2.

# வானியல் விவரங்கள்

### காலம்

ஒரு சராசரி சூரிய விஞடி = 1/86400 சராசரி சூரிய நாள்

ஒரு மீன்வழி நாள் = 86164·0906 சராசரி சூரிய விஞடிகள்.

ஒரு நிர்வாக ஆண்டு = 365·242 சராசரி சூரிய நாட்கள்.

ஒரு மீன்வழி ஆண்டு = 365·256 சராசரி சூரிய நாட்கள்.

ஒரு சந்திர மாதம் = 29·531 சராசரி சூரிய நாட்கள்.

### தூரம்

சூரியனிலிருந்து பூமியின் சராசரித் தூரம் = $1 \cdot 497 \times 10^{8}$ கிலோ மீட்டர்கள். $9 \cdot 300 \times 10^{7}$ மைல்கள்.

பூமியிலிருந்து சந்திரனின் சராசரித் தூரம் = $3 \cdot 847 \times 10^{5}$ கிலோ மீட்டர்கள். $2 \cdot 391 \times 10^{5}$ மைல்கள்.

ஓர் ஒளி ஆண்டு = $9 \cdot 463 \times 10^{12}$ கிலோ மீட்டர்கள்.

= $5 \cdot 880 \times 10^{12}$ மைல்கள்.

ஒரு பார்செக் = $3 \cdot 09 \times 10^{13}$ கிலோ மீட்டர்கள்

= $1 \cdot 92 \times 10^{13}$ மைல்கள்.

= 3·26 ஒளி ஆண்டுகள்.

மிக அருகிலுள்ள விண்மீனின் தூரம் = 4·31 ஒளி ஆண்டுகள்.

மிகவும் ஒளி பொருந்திய விண்மீனின் தூரம் (சிரியஸ்) = 8·8 ஒளி ஆண்டுகள்.

### சூரியன்

ஆரம் = $6 \cdot 960 \times 10^{5}$ கிலோ மீட்டர்கள்.

= $4 \cdot 325 \times 10^{5}$ மைல்கள்

புறப்பரப்பு = $6 \cdot 0827 \times 10^{12}$ கிலோ மீட்டர்$^{2}$.

பருமன் $= 1 \cdot 412 \times 10^{18}$ கிலோ மீட்டர்$^3$.

நிறை $= 1 \cdot 991 \times 10^{30}$ கிலோ கிராம்.

$= 1 \cdot 960 \times 10^{27}$ டன்கள்.

சராசரி அடர்த்தி $= 1 \cdot 410$ கிராம்/செ. மீ.$^3$

ஆற்றல் உற்பத்தி $= 3 \cdot 86 \times 10^{26}$ ஜூல்/வினாடி.

மீன்வழிச் சுழற்சி நேரம் $= 25 \cdot 38$ நாட்கள்.

பூமியைப் பொறுத்து சுழற்சி நேரம் $= 27 \cdot 28$ நாட்கள்.

புறப்பரப்பில் தப்பியோடும் திசை வேகம் $= 618$ கிலோ மீட்டர்/வினாடி.

நிலைமத் திருப்புத் திறன் $= 6 \cdot 0 \times 10^{53}$ கிராம் - செ. மீ.$^2$

## பூமி

துருவ ஆரம் $= 6356 \cdot 8$ கிலோ மீட்டர்
$= 3951$ மைல்கள்.

நடு வரையில் ஆரம் $= 6378 \cdot 2$ கிலோ மீட்டர்
$= 3964$ மைல்கள்.

சராசரி ஆரம் $= 6371$ கிலோ மீட்டர்
$= 3960$ மைல்கள்.

புறப்பரப்பு $= 5 \cdot 101 \times 10^{8}$ கி. மீட்டர்$^2$.

பருமன் $= 1 \cdot 083 \times 10^{12}$ கி. மீட்டர்$^3$.

நிறை $= 5 \cdot 980 \times 10^{24}$ கி. கிராம்.

$= 5 \cdot 886 \times 10^{21}$ டன்கள்.

சராசரி அடர்த்தி $= 5 \cdot 520$ கிராம்/செ. மீ.$^3$.

சூரியனிலிருந்து சராசரித் தொலைவு $= 1 \cdot 497 \times 10^{8}$ கிலோ மீட்டர்.

$= 9 \cdot 300 \times 10^{7}$ மைல்கள்.

அண்மைப் புள்ளியில் சூரியனிலிருந்து தூரம் $= 1 \cdot 47 \times 10^{8}$ கி. மீ.

$= 9 \cdot 136 \times 10^{7}$ மைல்கள்.

சுற்றுப் பாதையின் சூரியனைப்
பொறுத்துச் சராசரித் திசை
வேகம் = 29·78 கி. மீ./விநாடி

செய்மைப் புள்ளியில் சூரியனி
லிருந்து தூரம் = $1{\cdot}52 \times 10^8$ கி. மீ.
= $9{\cdot}44 \times 10^7$ மைல்கள்.

புறப்பரப்பில் தப்பியோடு திசை
வேகம் = 11·2 கி. மீ./விநாடி.

பூமியின் அளவே பருமனுள்ள
கோளத்தின் ஆரம் = 6371 கி. மீ. = 3960
மைல்கள்.

நடுவரையில் பூமியின் சுழற்சித்
திசை வேகம் = 465 மீட்டர்/விநாடி.

சூரிய மாறிலி (solar constant) = 2·00 கலோரி/செ. $மீ^2$.

புறப்பரப்பில் புவிஈர்ப்பு முடுக்கம் = 9·807 மீட்டர்/$விநாடி^2$/
நிமிடம்.

சுழலும் அச்சைப் பொறுத்து
நிலைமத் திருப்புத் திறன் = $8{\cdot}04 \times 10^{44}$ கிராம் $செ.மீ^2$.

**சந்திரன்**

ஆரம் = 1738 கி.மீ. = 1080 மைல்கள்

புறப்பரப்பு = $3{\cdot}796 \times 10^7$ கி. $மீ^2$.

பருமன் = $2{\cdot}199 \times 10^{10}$ $மீ^3$.

நிறை = $7{\cdot}349 \times 10^{22}$ கி. கிராம்
= $7{\cdot}230 \times 10^{19}$ டன்கள்.
= 1/81·4 பங்கு பூமியின் நிறை.

சராசரி அடர்த்தி = 3·340 கிராம்/செ. $மீட்டர்^3$.
= 0·61 × பூமியின் சராசரி
அடர்த்தி.

பூமியைச் சுற்றிச் சந்திரனின்
மீன்வழி நேரம் = 27·322 சராசரி சூரிய
நாட்கள்.

ஒரு சந்திர மாதம் = 29·531 சராசரி சூரிய நாட்கள்.

பூமியிலிருந்து சராசரித் தொலைவு = $3{\cdot}847 \times 10^5$ கி. மீட்டர்.

= $2{\cdot}390 \times 10^5$ மைல்கள்.

பூமியிலிருந்து சில சமயத்தில் காட்சிப் புலனாகும் சந்திரப் புறப்பரப்பு = 59%.

புறப்பரப்பில் ஈர்ப்பு முடுக்கம் = 1·62 மீட்டர்/வினாடி$^2$.

நிலைமத் திருப்புத் திறன் = $8{\cdot}8 \times 10^{22}$ கி. கிராம்/ கி. மீட்டர்$^2$.

புறப்பரப்பில் தப்பியோடு திசை வேகம் = 2·38 கி. மீட்டர்/வினாடி.

## வானியல் அட்டவணை 3.

பூமியைப் பொறுத்து=1 எனக் கொண்டு

$R$ = பொருளின் நடுவரை ஆரம்.

$M$ = நிறை

$\rho$ = அடர்த்தி

$d$ = சூரியனுக்குத் தூரம்

$g$ = புறப்பரப்பில் ஈர்ப்பு முடுக்கம்

$\in$ = சுற்றுப் பாதையின் வேற்று மையம்

$\theta$ = ஞாயிற்றின் தோற்றப் பாதைக்குச் சாய்வு

$N$ = துணைக் கோள்களின் எண்ணிக்கை

$T_s$ = மீன்வழி நேரம் — ஒரு முறை சுற்றுப் பாதையை வலம் வர ஆகும் நேரம்

$T_R$ = அச்சைப் பற்றி சுழல் நேரம்

| பொருள் | $R$ | $M$ | $\rho$ | $d$ | $g$ | $\in$ | $\theta$ | $N$ | $T_s$ | $T_R$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| சூரியன் | 109·1 | $3{\cdot}33 \times 10^5$ | 0·255 | ... | 28 | ... | ... | ... | ... | 25·38 நாட்கள் |
| சந்திரன் | 0·273 | 0·0123 | 0·607 | 1·000 | 0·1645 | 0·055 | 5° 8′ 40″ | ... | 27·32 நாட்கள் | 27·32 நாட்கள் |
| புதன் | 0·38 | 0·056 | 0·96 | 0·387 | 0·36 | 0·206 | 7° 0′ 13·7″ | 0 | 87·97 நாட்கள் | 59 நாட்கள் |
| வெள்ளி | 0·96 | 0·81 | 0·90 | 0·723 | 0 87 | 0·007 | 3° 23′ 38·9″ | 0 | 224·7 நாட்கள் | 247 நாட்கள் |
| பூமி | 1·000 | 1·000 | 1·000 | 1·000 | 1·000 | 0·017 | 0 | 1 | 365·256 நாட்கள் | 1 நாள் |
| செவ்வாய் | 0·53 | 0·107 | 0·715 | 1·523 | 0·38 | 0·093 | 1° 51′ 0″ | 2 | 687 நாட்கள் | 24·6 மணிகள் |
| வியாழன் | 11·20 | 318·00 | 0·241 | 5·203 | 2·65 | 0·048 | 1° 18′ 21·3″ | 12 | 11·86 வருடங்கள் | 9·9 மணிகள் |
| சனி | 9·47 | 95·1 | 0·13 | 9·539 | 1·14 | 0·056 | 2° 29′ 25·2″ | 10 | 29·46 வருடங்கள் | 10·2 மணிகள் |
| யுரேனஸ் | 3·75 | 14·5 | 0·25 | 19·19 | 1·1 | 0 047 | 0° 46′ 22 8″ | 5 | 84·02 வருடங்கள் | 10·7 மணிகள் |
| நெப்டியூன் | 3·50 | 17·5 | 0·41 | 30·07 | 1·00 | 0·009 | 1° 46′ 28·1″ | 2 | 164·8 வருடங்கள் | 15·8 மணிகள் |
| புளூட்டோ | ~1 | ~1 | ~1 | 39·52 | ? | 0·249 | 17° 8′ 34·1″ | 0 | 248 வருடங்கள் | 6·3 நாட்கள் |

அட்டவணை 4.

பொலிவு இறங்கு வரிசையில் ஒளிமிக்க விண்மீன்கள்

| விண் மீன் | தொலைவு | | காட்சிப் புலன் அளவு |
|---|---|---|---|
| α கானிஸ்மேஜோரிஸ் (சிரியஸ்) | 8·8 ஒளி ஆண்டுகள் | | — 1·42 |
| α காரினே (கனோபஸ்) | 550? | ,, | — 0·72 |
| α சென்டாரி | 4·31 | ,, | — 0·27 |
| α பூட்டீஸ் (ஆர்க்டாரஸ்) | 32 | ,, | 0·06 |
| α லிரே (வெகா) | 26·1 | ,, | 0·04 |
| α அவுரிகே (காப்பெல்லா) | 45 | ,, | 0·05 |
| β ஓரியோனிஸ் (ரீகல்) | 650? | ,, | 0·14 |
| α கானிஸ் மைனோரிஸ் (புரோசியான்) | 11·4 | ,, | 0·38 |
| α எரிடானி (அக்கெர்னர்) | 140 | ,, | 0·51 |
| β சென்டாரி | 140 | ,, | 0·63 |

**காட்சிப் புலன் அளவு கோலின் அளவு**

ஒரு மனிதனின் கண்ணால் பார்க்கக் கூடிய ஒரு விண்மீனின் பொலிவைக் குறிப்பதற்காக இந்த அளவுகோல் பயன்படுத்தப் படுகிறது. கட்புலன் அளவு 6 என்பது மனிதனின் கண்ணால் சற்றே பார்க்கும் அளவு ஆகும். ஒரு லாக்கிரதமிக் அளவுகோளில் மிக ஒளி பொருந்திய விண்மீன்கள் சிறிய கட்புலன் அளவுகளால் குறிப்பிடப் படுகிறது. கட்புலன் அளவில் 1 அலகு மாற்றம் விண்மீன் பொலிவில் $5\sqrt{100} = 2{\cdot}512$ என்ற மாற்றத்தைக் குறிக்கின்றது. எனவே ஒரு விண்மீனின் அளவு 1 என்றால் அது 6 மடங்கு அளவுள்ள விண்மீனைக் காட்டிலும் 100 தடவை ஒளி மிகுந்தது. ஒரு விண்மீனின் அளவு —1 என்றால், அது 0 அளவுள்ள விண்மீனைக் காட்டிலும் 2·512 மடங்கு ஒளி மிகுந்திருக்கும்.

### தோராய விண்மீன் கூட்டத் தொலைவுகள்

| | | |
|---|---|---|
| ஆன்ட்ரோமிடாவில் உள்ள "பெரிய நெபுலா" | $22 \times 10^5$ | ஒளியாண்டுகள் |
| ஆன்ட்ரோமிடாவில் உள்ள "நெபுலா" | $15 \times 10^5$ | ,, |
| ட்ரையாங்குலத்தில் உள்ள "நெபுலா" | $15 \times 10^5$ | ,, |
| பெரிய "மெஜல்லானிக்" மேகம் | $1 \cdot 4 \times 10^5$ | ,, |
| சிறிய "மெஜல்லானிக்" மேகம் | $1 \cdot 5 \times 10^5$ | ,, |

அட்டவணை 5.

ஆற்றல் இணை மாற்றங்கள் (Energy equivalents)

| ஆற்றல் | அடிப்படைச் சமன்பாடு | $J$ | $Mev$ | கலோரி | $KWH$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 ஜூல் $J$ | — | 1 | $6 \cdot 242 \times 10^{12}$ | $0 \cdot 2389$ | $2 \cdot 778 \times 10^{-7}$ |
| 1 $Mev$ | $E = mc^2$ | $1 \cdot 602 \times 10^{-13}$ | 1 | $3 \cdot 828 \times 10^{-14}$ | $4 \cdot 45 \times 10^{-20}$ |
| 1 கலோரி | — | $4 \cdot 186$ | $2 \cdot 613 \times 10^{11}$ | 1 | $1 \cdot 163 \times 10^{-6}$ |
| 1 கிலோ-வாட்-மணி | — | $3 \; 6 \times 10^{6}$ | $2 \cdot 247 \times 10^{19}$ | $8 \cdot 6 \times 10^{5}$ | 1 |
| 1 கி. கிராம் | $E = uc^2$ | $8 \; 988 \times 10^{16}$ | $5 \cdot 61 \times 10^{29}$ | $2 \cdot 147 \times 10^{16}$ | $2 \cdot 497 \times 10^{10}$ |
| 1 எலக்ட்ரான் நிறை ($me$) | $E = mc^2$ | $8 \cdot 187 \times 10^{-14}$ | $5 \cdot 11 \times 10^{-1}$ | $1 \cdot 956 \times 10^{-14}$ | $2 \cdot 274 \times 10^{-20}$ |
| 1 ஹெர்ட்ஸ் ($HZ$) | $E = h\gamma$ | $6 \cdot 626 \times 10^{-34}$ | $4 \cdot 136 \times 10^{-21}$ | $1 \cdot 583 \times 10^{-14}$ | $1 \cdot 841 \times 10^{-40}$ |
| 1 அலை எண் | $E = hc/\lambda$ | $1 \cdot 986 \times 10^{-25}$ | $1 \cdot 24 \times 10^{-12}$ | $4 \cdot 745 \times 10^{-26}$ | $5 \cdot 517 \times 10^{-32}$ |
| $\sigma = \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{m^{-1}}$ | | | | | |
| 1 டிகிரி கெல்வின் ($OK$) | $E = RT$ | $1 \cdot 381 \times 10^{-28}$ | $8 \cdot 62 \times 10^{-11}$ | $3 \cdot 299 \times 10^{-24}$ | $3 \cdot 836 \times 10^{-30}$ |

அட்டவணை 6.

எலெக்ட்ரானியல் மின்தடை நிறங்கள்

| நிறம் | மதிப்பு | சசிப்புத் தன்மைக்கு |
|---|---|---|
| கருப்பு (Black) | 0 | — |
| பழுப்பு (Brown) | 1 | — |
| சிவப்பு (Red) | 2 | 20% பட்டை இராது |
| சிவந்த மஞ்சள் (Orange) | 3 | 10% வெள்ளி நிறப்பட்டை |
| மஞ்சள் (Yellow) | 4 | 5% தங்க நிறப்பட்டை |
| பச்சை (Green) | 5 | — |
| நீலம் (Blue) | 6 | — |
| ஊதா (Violet) | 7 | — |
| (Grey) | 8 | |
| வெள்ளை (White) | 9 | — |

## கிரேக்க எழுத்துக்கள்

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| A | $\alpha$ | ஆல்ஃபா | N | $\nu$ | நியூ |
| B | $\beta$ | பீட்டா | $\Xi$ | $\xi$ | சை |
| $\Gamma$ | $\gamma$ | காமா | O | $o$ | ஓமிக்கிரான் |
| $\Delta$ | $\delta$ | டெல்ட்டா | $\Pi$ | $\pi$ | பை |
| E | $\varepsilon$ | எப்சிலான் | P | $\rho$ | ரோ |
| Z | $\zeta$ | ஜுட்டா | $\Sigma$ | $\sigma$ | சிக்மா |
| H | $\eta$ | ஈட்டா | T | $\tau$ | டௌ |
| (H) | $\theta$ | தீட்டா | Y | $\upsilon$ | அப்சிலான் |
| I | $\iota$ | ஐயோட்டா | $\Phi$ | $\phi$ | ஃபை |
| K | $\kappa$ | கப்பா | $\Psi$ | $\psi$ | ப்சை |
| $\Lambda$ | $\lambda$ | லாம்ப்டா | $\Omega$ | $\omega$ | ஒமேகா |
| M | $\mu$ | மியூ | | | |

## சில வானிவியல், ரேடியோ சொற்களின் வரையறைகள்

ஆங்ஸ்டிராம் (Angstrom) = ஓர் ஆங்ஸ்டிராம் என்பது $10^{-8}$ செ. மீட்டர் நீளத்திற்குச் சமம். பெரும்பாலும் அலை நீளங்களை அளப்பதற்கு இவ் வலகு பயன்படுத்தப் படுகிறது.

அஸ்டிராய்டு (Asteroid) = சூரியனைச் சுற்றிவரும் ஒரு சிறிய கோள்.

வானவியல் அலகு (Astronomical unit) = இது வானவியல் நிபுணர்களால் உபயோகப் படுத்தப்படும் அலகு; ஒரு வானவியல் அலகு என்பது பூமிக்கும், சூரியனுக்கும் உள்ள தூரமாகும். அதாவது 1 வானவியல் அலகு $= 1{\cdot}5 \times 10^{13}$ செ. மீட்டர்.

கரும்பொருள் (Black body) = தன்மீது விழும் மின்காந்தக் கதிர் வீச்சை முழுமையாக உட்கவரக்கூடிய ஒரு பொருள். அத்தகைய பொருள் ஒரு முழுக் கதிர் வீச்சுப் பொருளாகவும் செயல்படும். பிளாங்கின் விதிப் படி, எந்த அலை நீளத்தில் கதிர் வீச்சு வெளி விடுகிறதோ, அப்பொழுது கதிர் வீச்சாற்றல் அப் பொருளின் வெப்பநிலையைப் பொறுத்திருக்கும்.

காஸ்மிக் கதிர்களும், காஸ்மிக் கதிர் எலெக்ட்ரான்களும் (Cosmic-rays and cosmic-ray electrons) = கிட்டத்தட்ட ஒளியின் திசை வேகத்தில் பயணம் செய்யும் மூலகத்துகள். காஸ்மிக் கதிர் எலெக்ட்ரான்கள் என்பவை அதிவேகத்தில் செல்லும் எலெக்ட்ரான்கள்.

டிகிரி கெல்வின் அல்லது சார்பற்ற ($K$) (Degrees Kelvin or absolute) = இது ஒரு வெப்பநிலை அளவுகோல். இரண்டு அடுத்துள்ள அளவுகளுக்கிடையேயுள்ள வெப்ப நிலை மதிப்பு சென்டி கிரேடு வெப்பநிலைக்குச் சமம். $0°K = -273°C$.

டாப்ளர் பெயர்ச்சி (Doppler shift) = கதிர் வீசும் பொருளுக்கும், அப் பொருளைப் பார்ப்பவருக்கும் உள்ள சார்பு இயக்கத்தினால் அதிர்வெண்ணில் ஏற்படும் மாற்றம். இடையே உள்ள தூரம் குறைந்து கொண்டிருந்தால் அதிர்

வெண் அதிகரித்துக் கொண்டிருக்கும். இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள தூரம் அதிகரித்தால், அதிர்வெண் குறையும். இதனால் ஒளி சிவப்பாக மாறும். இதற்குச் சிவப்புப் பெயர்ச்சி (red-shift) என்பது பெயர்.

எலெக்ட்ரான் வோல்ட் (Elcetron volt) = எலெக்ட்ரானோ அல்லது ஓரலகு மின்னேற்றத்தையுடைய மற்ற துகளோ ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு கொண்ட இரு புள்ளிகளுக்கிடையில் நகரும்பொழுது அடையும் ஆற்றல்.

ஊட்டுவான் (Feeder) = ஒரு ரேடியோ ஏற்பியிலோ அல்லது பரப்பி முறையிலோ இரண்டு பகுதிகளை மின் முறையில் தொடர்பு கொள்ளச் செய்தல். எடுத்துக்காட்டாக, ஏரியலையும், ஏற்பியும் இணைத்தல்.

பாய அடர்த்தி (Flux density) = ஓரலகுப் பரப்பின்மீது விழும் ரேடியோ அல்லது மற்ற மின்காந்த அலையின் திறன்.

விண்மீன் கூட்டம் (Galaxy) = விண்மீன் கூட்டம் என்பது பல விண்மீன்கள் (சூரியனுட்பட) வாயு, புழுதி (தூசுகள்) இவைகளின் தொகுப்பாகும். இது பால்வழி போன்று தோன்றும். எண்ணற்ற மற்ற விண்மீன் கூட்டங்கள் நமது விண்மீன் கூட்டத்திற்கப்பால் அமைந்துள்ளன.

விண்மீன் கூட்ட அட்ச ரேகையும், தீர்க்கரேகையும், (Galactic latitude and Longitude) = திசைப் பண்பியல்புகளையுடைய ஒரு வகை ஆயமுறை (co-ordinate system). இதில், விண்மீன் கூட்டத் தளத்தின் அட்சரேகை, சுழியாக இருக்கின்றது. இதுவே பால்வழியின் மையம்.

காமாக் கதிர்கள் (Gamma rays) = ஒருவகை மின் காந்த அலைகள். இவற்றின் அலை நீளங்கள் $10^{-10}$ செ. மீட்டரை விடக் குறைவு.

HI, HII = *HI* — நடுநிலையாக்கப்பட்ட ஹைடிரஜன்.
*HII* — அயனியாக்கம் அடைந்த ஹைடிரஜன்.
*HI, HII* என்ற மேகங்கள் இந்த வாயுக்களைக் கொண்ட வான்மீனிடை வெளி மேகங்கள்.

பிளாஸ்மா (Plasma) = அயனியாக்கம் அடைந்த அணுக்களால் ஆன ஒரு வாயு.

குவாண்டம் (Quantum) = மின்காந்த அலைகளின் ஆற்றல் கிட்டத்தட்ட தனித்தனியாக, கட்டுக்கட்டான முறையில் குவாண்டா என்ற அளவுகளில் பரவுகின்றது.

ரேடியோ இரைச்சல் (Radio noise) = 0° K-க்குமேல் வெப்ப நிலையுடைய ஒவ்வொரு பொருளும், ரேடியோ அலைகளை ஒழுங்கற்ற முறையில் உற்பத்தி செய்கின்றன. இவ்வலைகளின் அதிர்வெண் பட்டை அகன்றதாக பரவியிருக்கின்றது. இத்தகைய அலைகள் பெருக்கப்பட்டு செவியால் உணரப்படும் நிலைக்குக் கொண்டு வரும்பொழுது, அவைகள் ஒருவித 'இஸ்' என்ற ஒலியைக் கொடுக்கின்றன. இதனுல் இது ரேடியோ இரைச்சல் என அழைக்கப் படுகின்றது.

சூரிய சம்பந்தமான நிறை (Solar Mass) = விண்மீன்களின் நிறைகளையும், நெபுலாக்களின் நிறைகளையும், சூரியனின் நிறையோடு ஒப்பிட்டுச் சொல்வதற்கு வசதியாக இருக்கின்றது. சூரியனின் நிறை சுமார் $2 \times 10^{33}$ கிராம் ஆகும்.

நிறமாலை காட்டி (Spectro scope) = நிறமாலைகளைக் காட்டும் ஒரு கருவி.

நிறமாலை வரைவி (Spectro graph) = நிறமாலைகளைப் பதிவு செய்யும் ஒரு கருவி.

ஸ்டிரேடியன் (Steradian) = ஒரு கோளத்தின் முழுப் பரப்பும் அதன் மையத்தில் தாங்கும் திண்மைக் கோணத்தில் $\frac{1}{4\pi}$ மடங்காகும்.

அயனிகள் (Ions) = மின் முறையில் மின்னேற்றம் அடைந்த மூலகத் துகள். புரோட்டான்களும், எலெக்ட்ரான்களும் முறையே நேர் மின்னேற்றமும், எதிர் மின்னேற்றமும் கொண்ட அயனிகள்.

அயன மண்டலம் (Ionosphere) = பூமியின் வளி மண்டலத்தில் ஒரு பகுதி. இது சுமார் 50 மைல்கள் உயரத்தில் உள்ளது. இப் பகுதியில், அநேக அணுக்கள், சூரியனின் புற-ஊதாக் கதிர்களாலும், $X$ கதிர்களாலும் அயனிகளாக உடைக்கப்படுகின்றன. இதனால் இப் பகுதி அயன மண்டலம் என அழைக்கப் படுகிறது.

சம கதிர் வீச்சுக் கோடு (Isophote) = வானத்திலுள்ள பல்வேறு பகுதிகளின் கதிர் வீச்சாற்றலை வரைபடத்தில் குறிக்கும்பொழுது, சமமான கதிர்வீச்சுப் பகுதிகளைச் சேர்க்கும் ஒரு கோட்டிற்குச் சம கதிர் வீச்சுக் கோடு என்பது பெயர்.

ஒளியாண்டு (Light Year) = இது தொலைவை அளக்கும் ஓர் அலகு. ஓர் ஆண்டில் ஒளி செல்லும் தூரத்திற்கு ஒளியாண்டு என்பது பெயர். இது $9 \cdot 5 \times 10^{17}$ செ. மீட்டர் தூரத்திற்குச் சமம்.

மெகா சுற்றுகள்/விநாடி (Megacycles per second) = இது ஓர் அதிர்வெண் அலகு. 1 மெகா சுற்று/விநாடி = $10^6$ சுற்றுகள்/விநாடி ஆகும்.

நெபுலா (Nebula) = இது ஒரு வானியல் பொருள். ஒரு தனிப்பட்ட விண்மீனையோ அல்லது கொத்தாக உள்ள விண்மீன்களையோ குறிப்பது இல்லை. நெபுலா என்று மற்ற விண்மீன் கூட்டத்தையோ (external galaxy) அல்லது வாயுவாலோ அல்லது பகுதியாலோ ஆன ஒரு மேகத்தையோ குறிக்கலாம்.

கலக்கிப் பிரித்தல் (Super-heterodyne) = இது ஒரு வகை ரேடியோ ஏற்பியாகும். இதில் ஏற்கப்படும் சைகையின் அதிர்வெண் பெருக்கப் படுவதற்கு முன்பு மாற்றப் படுகின்றது.

சூப்பர்-நோவா (Super Nova) = ஒரு விண்மீனின் நாச வெடிப்பின் முடிவு. இதன் பிறகு ஒரு சிறிய விண்மீனையும், விரிவடையும் வாயு மேகத்தையும் உள்ளடக்கிக் கொண்டுள்ளது.

# கலைச்சொற்கள்

(தமிழ் — ஆங்கிலம்)

அ

| | | |
|---|---|---|
| அகவாய் | — | Inlet |
| அடக்கு கிரிடு | — | Suppressor grid |
| அடுக்குப்பேதம் | — | Frequency difference |
| அடுக்கப் பண்பேற்றம் | — | Frequeucy modulation |
| அடுக்க மாற்றி | — | Frequency changer |
| அணு | — | Atom |
| அணு எண் | — | Atomic number |
| அணு எடை | — | Atomic weight |
| அதிக அடுக்கப்பக்கப்பட்டை | — | Upperside band |
| அயனமண்டலம் | — | Ionosphere |
| அயனியாக்கம் | — | Ionisation |
| அரிதிற் கடத்தி | — | Bad conductor |
| அரை அலைவுத் திருத்தி | — | Half wave rectifier |
| அதிப் பரவளையம் | — | Hyperbola |
| அதிர்வெண், அடுக்கம் | — | Frequency |
| அடிக்கோணம் | — | Base angle |
| அலைநீளம் | — | Wave length |
| அலையியற்றி | — | Oscillator |
| அண்டம் | — | Galaxy |
| அலைவழிப்படுத்தி | — | Wave guide |
| அண்டத்திற்கப்பால் | — | Extra galactic |
| அலைப்பரப்பி | — | Transmitter |
| அண்ட நடுவரை | — | Galactic equator |
| அலைப்பண்பிறக்கம் | — | De-modulation |
| அலைவீச்சு | — | Amplitude |
| அலைவு நேரம் | — | Period of oscillation |
| அலைவு மின்னோட்டம் | — | Oscillating current |
| அவுரி | — | Indigo |
| அன்டென்னா | — | Antenna |

| | |
|---|---|
| அச்சு | — Axis |
| அதிர்வி | — Vibrator |

ஆ

| | |
|---|---|
| ஆம்பியர் | — Ampere |
| ஆரஞ்சு | — Orange |
| ஆரவகை காந்தப்புலம் | — Radial magnetic field |
| ஆற்றல் | — Energy |
| ஆற்றல் மின்மாற்றி | — Power transformer |
| ஆற்றல் செறிவு | — Energy density |
| ஆற்றல் பாய்கை | — Energy flow |
| ஆற்றல் செலுத்தும் கம்பி | — Transmission line |
| ஆளுகை அலை இயற்றி | — Master Oscillator |

இ

| | |
|---|---|
| இசைவிக்கப்பட்ட ரேடியோ அடுக்கம் | — Tuned Radio frequency |
| இசைவிக்கும் மின்தேக்கி | — Tuning condenser |
| இசைவித்தல் | — Tuning |
| இசைவு அடுக்கம் | — Resonant frequency |
| இசைவுக் காட்டி | — Tuning indicator |
| இடஞ்சுழியாக | — Anti-clock wise |
| இடைநிலை அடுக்கம் | — Intermediate frequency |
| இடைநிலை அடுக்கப்பெருக்கி | — I. F. Amplifier |
| இலக்கு | — Target |
| இணைப்பு | — Coupling |
| இணைப்பெண் | — Co-efficient of coupling |
| இணைப்பு மின்தேக்கி | — Coupling condenser |
| இணைப்பு அலையியற்றி | — Coupled oscillator |
| இருமடி | — Square |
| இணை | — Conjugate |
| இணையேற்றம் | — Co-altitude |
| இணைத்தடம் | — Shunt |
| இருமுனை | — Dipole |
| இருதிசை மின்னழுத்தம் | — Alternating voltage |
| இருதிசை மின்னோட்டம் | — Alternating current |
| இரைச்சல் | — Noise |
| இயக்கநிலைப் பண்பியல் கோடுகள் | — Dynamic characteristics |

| | | |
|---|---|---|
| இயற்பியல் | — | Physics |
| இரட்டை எண்கள் | | Even numbers |
| இலக்கம் | — | Digit |
| இயற்றி | — | Generator |
| இறக்கம் | — | Depression |
| இரண்டாம் நிலைகள் | — | Secondary waves |

ஈ

| | | |
|---|---|---|
| ஈர்ப்பு | — | Gravitation |
| ஈற்றணுகி | — | Asymtode |

உ

| | | |
|---|---|---|
| உச்சி | — | Apex |
| உட்குழிவு | — | Cavity |
| உட்கவர்தல் | — | Absorption |
| உடனுறு அடுக்கம் | — | Instantaneous frequency |
| உண்மை உயரம் | — | True height |
| உந்து மின்னழுத்தம் | — | Accelarating voltage |
| உலோகத் திருத்தி | — | Metal rectifier |
| உயரழுத்த பாட்டரி | — | High tension Battery |
| உயரமானி | — | Altimeter |
| உருளை மின்தேக்கி | — | Cylindrical condenser |
| உருக்குலைந்த பிம்பம் | — | Distorted image |
| உணர்வு நுட்பம் | — | Sensitivity |

ஊ

| | | |
|---|---|---|
| ஊட்டுக்கம்பி | — | Feeder line |
| ஊதா | — | Violet |
| ஊர்தி அலை | — | Carrier wave |

எ

| | | |
|---|---|---|
| எடுகோள் | — | Hypothesis |
| எடுத்துக்காட்டு | — | Illustration |
| எண்ணிலா | — | Infinite |
| எடிசன் விளைவு | — | Edison effect |
| எதிர்க்கணு | — | Anti node |
| எதிர்மின் வாய் | — | Cathode |
| எதிர் மின்னழுத்தம் | — | Negative voltage |
| எதிரொலி | — | Echo |

எதிர் மின்னூட்டம் — Negative charge
எதிர் மின்கதிர்க் குழாய் — Cathode ray tube
எல்லை மேற்பரப்புகள் — Boundary surfaces
எல்லை நிபந்தனை — Boundary condition
எல்லையற்ற — Boundless
எலெக்ட்ரான் — Electron
எதிரொளிப்பான் — Reflector
எலெக்ட்ரான் மின் ஓட்டம் — Electron current
எலெக்ட்ரான் துளை — Electron hole
எலெக்ட்ரான் செறிவு — Electron density
எலெக்ட்ரான் மேகம் — Electron cloud
எழுச்சி — Surge

ஏ

ஏடு, அடுக்கு — Layer
ஏரியல் — Aerial
ஏற்பி — Receiver
ஏற்றக்கோணம் — Angle of elevation
ஏற்ற இறக்கம் — Fluctuation
ஏற்பு அணு — Acceptor Atom
ஏற்பு வாய் — Collector
ஏற்பு வாய்ச் சந்தி — Collector Junction
ஏற்றம் — Elevation
ஏ. சி./டி. சி. மாற்றி — A.C/D.C converter

ஒ

ஒத்த கட்டம் — Same phase
ஒதுக்கும் மின்தேக்கி — By pass condenser
ஒரு திசை நிலை சேய்மை — Conjuction superior
ஒரு திசை மின்னழுத்தம் — Direct current voltage
ஒரு திசை நிலை — Conjuction
ஒரு திசை மின்னோட்டம் — Direct current
ஒரு திசை நிலை அண்மை — Conjuction inferior
ஒளியுணர்வுப் பண்பு — Light sensitive property
ஒளி மின்கலம் — Photo electric cell
ஒளி வட்டம் — Carona
ஒளிர் திரை — Fluorescent screen
ஒரே பகுதியிலுள்ள — Concyclic
ஒரு சார்பு மின்னழுத்தம் — Bias voltage

ஒரு விண் மீனின் திசைவில் — Azimuth of a star
ஓமேகா — Omega
ஒரு படித்தான — Homogeneous

ஓ

ஓம் — Ohm
ஓரை வட்டம் — Ellipse
ஓரச்சு உருளை — Co-axial cylinder
ஓரச்சாக — Co-axially
ஓர விளைவு — Edge effect
ஓயர்ஸ்டெட் — Oertead

ஃ

ஃபாரட் — Farad
ஃபிலமண்ட் — Filament

க

கலப்பி — Mixture
கணு — Node
கண்ணுறு — Video
கத்தரிக்கும் சுற்று — Clipping circuit
கடத்தும் திறன் — Mutual conductance
கற்பனையான — Imaginary
கசிவு — Leakage
கலக்கிப் பிரித்தல் — Hetro dyning
கட்டம் — Phase
கட்ட இயல்பு மாற்றி — Phase shift discriminator
கட்டுண்ட எலெக்ட்ரான் — Bound Electron
கரிய விண்மீன் குழாம் — Dark nebulae
கட்டபேதம் — Out of phase
கவர்ச்சி — Attraction
கற்றை மின்னழுத்தம் — Beam voltage
கன கோணம் — Solid angle
கன சதுரம் — Cube
காப்பு — Insulation
காரணி — Factor
காமிரா — Camera
காந்தப்புலம் — Magnetic field
கால்பிட் அலைவியற்றி — Colpitt oscillator

| | | |
|---|---|---|
| கிடைத் (அச்சுத்) தூரம் | — | Abscissa |
| கிடை விலக்கிகள் | — | Horizontal deflectors |
| கிடக்கை | — | Cosine |
| கிளர்ச்சி | — | Excitation |
| கிளைஸ்ட்ரான் | — | Klystron |
| கிரகணம் | — | Eclipse |
| குத்து விலக்கிகள் | — | Vertical deflectors |
| குரோமாஸ்ஃபியர் | — | Chromosphere |
| குரோமேட்ரான் | — | Chromatron |
| குவார்ட்ஸ் | — | Quartz |
| குவியங்கள் | — | Foci |
| குறிகாட்டி | — | Pointer, index |
| குறுக்குச் சுற்று | — | Short circuit |
| குறுமீன்கள் | — | Dwarf |
| குறை மின்னழுத்தப் பேட்டரி | — | Low voltage Battery |
| குறுக்கீட்டு விளைவு | — | Interference |
| குறைந்த அடுக்கப் பக்கப் பட்டை | — | Lower side bank |
| கூம்பு | — | Cone |
| கூலூம் | — | Coulomb |
| கூட்டங்கள் | — | Groups |
| கூட்டுப் பொருள் | — | Compound |
| கூறு | — | Component |
| கென்னெலி - ஹெவி சைடு அடுக்கு | — | Kennely—Heaviside layer |
| கொடை அணு | — | Donor Atom |
| கொடைவாய் | — | Emittor |
| கொடைவாய்ச் சந்தி | — | Emittor Junction |
| கோணம் | — | Angle |

ச

| | | |
|---|---|---|
| சட்டம் | — | Frame |
| சம இரவுப் புள்ளி | — | Equinox |
| சமநிலை | — | Equilibrium |
| சமன்பாடு | — | Equation |
| சமச் சீரில்லாத | — | Assymmetrical |
| சந்தி | — | Junction |
| சந்திப்பு | — | Concurrence |
| சார்பிலா | — | Absolute |
| சாய்வு | — | Inclination |

| | | |
|---|---|---|
| சர்வசமம் | — | Identical |
| சார்பற்ற | — | Independent |
| சார்பலன் | — | Function |
| சரிவுக்கோணம் | — | Declination |
| சிவப்பு | — | Red |
| சிறிதே கடத்தி | — | Semi conductor |
| சிறுகோள் | — | Asteroid |
| சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு | — | Characteristic impidance |
| சீரிசை அலையியற்றி | — | Harmonic oscillator |
| சுருள் | — | Coil |
| சுற்று | — | Circuit, cycle |
| சுற்று வடிவ ஆன்டென்ன | — | Loop Antenna |
| சூரியனின் சேய்மைநிலை | — | Apogee |
| செலினியம் | — | Selenium |
| செங்குத்து ஆன்டென்ன | — | Vertical Antenna |
| செவியுறு அடுக்க அலைகள் | — | Audio Frequency waves |
| செவியுறு அடுக்கப் பெருக்கி | — | Audio Frequency amplifier |
| செவியுணரா ஒலிகள் | — | Supersonic |
| செவியுறு அடுக்க மின்மாற்றி | — | Audio Frequency Transformer |
| செவ்வாயின் கால்வாய்கள் | — | Canals of Mars |
| செயலுறுப் பரப்பு | — | Effective area |
| செறிவு | — | Density |
| சோக் | — | Choke |
| சைன் வளைகோடு | — | Sine-curve |
| ட்ரோப்பாஸ்ஃபியர் | — | Troposphere |
| ட்ரயோடு | — | Triode |
| டயோடு | — | Diode |
| டன்னல் டயோடு | — | Tunnel Diode |
| டாப்ளர் விளைவு | — | Doppler effect |
| டிரான்சிஸ்டர் | — | Transister |
| டிரிம்மர் | — | Trimmer |
| டெட்ரோடு | — | Tetrode |
| டெசிபல் | — | Descibel |

த

| | | |
|---|---|---|
| தசமம் | — | Decimal |
| தட்டு | — | Disc |
| தள்ளு இழுப்பெருக்கி | — | Push pull amplifier |
| தடை அலைவியற்றி | — | Blocking oscillator |
| தற்கோள் | — | Assumption |

| | | |
|---|---|---|
| தரை அலைகள் | — | Ground waves |
| தரை இணைப்புற்ற | -- | Earthed |
| தரை ராடார் | — | Ground Radar |
| தனிமம் | — | Element |
| தன்வய வெக்டர் | — | Free vector |
| தனித்தனியான | — | Discrete |
| தாழ்வுக் கோணம் | — | Dip |
| தாவும் தூரம் | — | Skip distance |
| திருத்தங்கள் | — | Corrections |
| திருத்தி | — | Rectifier |
| திணிவு மையம் | — | Centroid |
| திரை கிரிடு | — | Screen grid |
| திறன் | — | Cumulative |
| திசைச் சார்பான | — | Azimuth |
| தற்றொடர்பாக்கம் | — | Auto-correlation |
| துணைச்சுருள் | — | Secondary coil |
| துடிப்பு | — | Pulse |
| துருவுதல் | — | Scanning |
| துருவ ஒளி | — | Aurora burilly |
| துவக்கி | — | Trigger |
| துளை | — | Hole |
| துடிப்பு மின்னோட்டம் | — | Pulsating current |
| தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தம் | — | Induced voltage |
| தைரட்ரான் | — | Thyratron |
| தொடுகை மின்னழுத்தம் | — | Contract potential |
| தொகுப்புப் படம், திட்ட வரைப்படம் | — | Block diagram |
| தொகுத்த சுற்று | — | Integrated circuit |
| தொகுப்பு வேகம் | — | Group velocity |
| தொடர்நிலை | — | Series |
| தொடர்ச்சியின்மை | — | Discontinuity |
| தொட்டிச் சுற்று | — | Tank circuit |

## ந

| | | |
|---|---|---|
| நற்கடத்தி | — | Good conductor |
| நாண் | — | Chord |
| நிலைத்த தன்மை | — | Persistance |
| நியான் விளக்கு | — | Neon lamp |
| நிலையலைகள் | — | Standing waves |
| நிறப்பு கின்ற | — | Complimentary |

| | | |
|---|---|---|
| நிறை | — | Mass |
| நின்ளெளிர் தல் | — | Phosphorescence |
| நீலம் | — | Blue |
| நெறிப் பிறழ்ச்சி | — | Anomaly |
| நேர் மின்னழுத்தம் | — | Positive voltage |
| நேர் மின்னூட்டம் | — | Positive charge |
| நேர் கோட்டுக் காலவடி | — | Linear time base |
| நேர் மின்வாய் | — | Anode |
| நேர் மின்வாய் ஒரு திசை மின்னழுத்தம் | — | Anode D. C. voltage |
| நேர் மின்வாய்ச் சிறப்பியல் கோடுகள் | — | Anode characteristics |
| நேர் மின்வாய் இசைவுப் பெருக்கி | — | Tuned Anode Amplifier |
| நைக்ரோம் | — | Nichrome |

ப

| | | |
|---|---|---|
| பல் அதிர்வி | — | Multi vibrator |
| பரவளையம் | — | Parabola |
| பரப்பளவு திசைவேகம் | — | Areal velocity |
| பரப்பல் | — | Propagation |
| பல்கூட்டு மாறி | — | Complex variable |
| பல படித்தான | — | Heterogenous |
| பகுத்தல் | — | Detection |
| பகுப்பான் | — | Detector |
| பல் கூட்டு எண் | — | Complex number |
| பச்சை | — | Green |
| பட்டை அகலம் | — | Band width |
| படிக அலையியற்றி | — | Crystal oscillator |
| படிகம் | — | Crystal |
| படுகை | — | Incident |
| பத்தி | — | Column |
| பண்பியல் அட்டவணை (தனிம அட்டவணை) | — | Periodic table |
| பண்பேற்றம் | — | Modulation |
| பரிதி | — | Circumference |
| பயனுறு திறன் | — | Efficiency |
| பங்கீடு | — | Distribution |
| பரப்பு | — | Broadcast |
| பரிமாணம் | — | Dimension |

| | | |
|---|---|---|
| பறக்கும் புள்ளித் துருவி | — | Flying spot scanner |
| பரவுகை | — | Dispersion |
| பாழ்ச்சுமை | — | Dead load |
| பிம்பம் | — | Image |
| பின்னூட்டம் | — | Feed back |
| பின் தங்கல் | — | Lagging |
| பின்னம் | — | Fraction |
| புவியின் மேற்பகுதிக் கோடு | — | Geodegic line |
| புரோட்டான் | — | Proton |
| புறச்சுற்று | — | External circuit |
| புறப்பணி எலெக்ட்ரான் | — | Valance Electron |
| புறவியல் மின்தடை | — | External resistance |
| புறத்துள்ள | — | Exterior |
| புறவாய் | — | Outlet |
| பூட்டும் சுற்று | — | Locking circuit |
| பூமியின் சேய்மை நிலைத்தூரம் | — | Aphelion |
| பெட்டிச் சுற்று வடிவ ஆன் டென்னு | — | Box loop Antenna |
| பெருக்கம் | — | Amplification |
| பெருக்கற் பலன் எண் | — | Amplification factor |
| பெருக்கி | — | Amplification |
| பெருங்கரடி மண்டலம் | — | Great Bear |
| பெருமம் | — | Maximum |
| பென்டோடு | — | Pentode |
| பேடர் | — | Pader |
| பொது அச்சுக் கம்பி | — | Cable (Co-axial) |
| பொது ஏற்பு வாய்ச்சுற்று அமைப்பு | — | Common collector (Configuration) |
| பொது மின்னழுத்தம் | — | Common potential |
| பொது கொடைவாய்ச் சுற்று அமைப்பு | — | Common Emitter - Configuration |
| பொருந்து | — | Coincide |
| பொலிவு | — | Brightness |
| பொது அடிவாய்ச் சுற்று அமைப்பு | — | Common base Configuration |
| பொருந்து ஒத்ததிர்வி, குழி ஒத்ததிர்வு | — | Cavity resonator |
| பொருக்குத் திறன் | — | Selectivity |
| பொருத்தம் | — | Matching |
| போலி உயரம் | — | Virtual height |

## ம

| | | |
|---|---|---|
| மஞ்சள் | — | Yellow |
| மங்குதல் | — | Fading |
| மாக்னெட்ரான் | — | Magnetron |
| மத்தியக்கோடு | — | Equator |
| மாற்றுவழி | — | By-pass |
| மாறா மின்தடை | — | Fixed resistance |
| மாறா மின்தேக்கி | — | Fixed condenser |
| மாறா மின் ஏற்பகம் | — | Admittance |
| மாறு மின்தடை | — | Variable resistance |
| மாறு திசை மின்னோட்டம் | — | Alternating current |
| மாறு மின்தேக்கி | — | Variable condenser |
| மாறுநிலை மின்னழுத்தம் | — | Cut off voltage |
| மிதுனம் | — | Gemini |
| மில்லி ஓல்ட் | — | Milli volt |
| மில்லர் சுற்று | — | Miller circuit |
| மில்லர் விளைவு | — | Miller effect |
| மின் இயக்கு விசை | — | Electromotive force |
| மிகப்பெரிய விண்மீன்கள் | — | Giant stars |
| மின் எழுவிழு சுற்று | — | Flip flop circuit |
| மின் மறுப்பு | — | Reactance |
| மின் காந்த அலை | — | Electro magnetic wave |
| மின் காந்தத் தூண்டுதல் | — | Elcctro magnetic induction |
| மின் குழாய் | — | Valve |
| மின்குழாய் மதிப்பெண் | — | Valve constant |
| மின்சாரச் சமன்பாட்டுச் சுற்று | — | Equivalent circuit |
| மின்னெதிர்ப்பு | — | Impedence |
| மின்தடை | — | Resistance |
| மின் தடை மின்தேக்கி இணைப்பு | — | Resistance capacity coupling |
| மின் திறன் | — | Electric power |
| மின் துடிப்பு | — | Electric pulse |
| மின் நிலைமம் | — | Iuductance |
| மின் நிலைமச் சுருள் | — | Inductance coil |
| மின் நிலைம மின் மறுப்பு | — | Inductive reactance |
| மின் நிலைம மின்தேக்கி இணைப்பு | — | Inductance capacity coupling |
| மின்பொறி இடைவெளி | — | Spark gap |
| மின்னழுத்த வேற்றுமை | — | Potential difference |
| மின் மாற்றி | — | Transformer |
| மின் மாற்றி இணைப்பு | — | Transformer coupling |

மின்னாற்பகுப்பு மின் தேக்கி — Electrolytic cendenser
மின்னிறக்கம் — Discharge
மின்னூட்டம் — Charge
மின்னிறக்க மின் மாற்றி — Step down transformer
மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி — Dielectric constant
மின்தேக்கி — Condenser
மின்தேக்கி மின்மறுப்பு — Capacitative reactance
மின்தேக்கி மின்னூட்டம் — Capacitative current
மின்தேக்கித் திறன் — Capacity
மின்னேற்ற மின் மாற்றி — Step up transformer
மினுமினுப்பு — Scintillation
மின்னோட்டமானி — Galvonameter
மின்னோட்டப் பெருக்கற் பலன் எண் — Current amplif ication current
மின்னோட்டம் — Current
முடுக்கி — Accelerator
முடிவுள்ள — Finite
முக்கூட்டு ஒளிர் பொருள் புள்ளிகள் — Phopar-dot-trios
முகவிளக்கு — Head light
முடிவு — Conclusion
முழக்கக் கட்டுப்பாடு — Volume control
முழு அலைவுத் திருத்தி — Full wave rectif ier
முற்றுச் சுற்று — Closed circuit
முனைத் திருப்பம் — End correction
முன்னேறு அலைகள் — Progressive waves
மூலைவிட்டம் — Diagonal
மெலிப்பான் — Attenuator
மெக்-ஓம் — Meg-ohm
மேசர் — Maser
மேன்மையம் — Epi centre
மேன் வட்டம் — Epi circle
மோ — Mho
மோதுகை — Collision
மைக்ரோ ஆம்பியர் — Micro Ampere
மைக்ரோ ஃபாரடு — Micro Farad
மைக்ரோ அலை — Micro wave
மையக் கோணம் — Angle at the centre
மைய விட்டோடு விசை — Centrifugal force
மைய நோக்கு விசை — Centripetal force

ரம்பப்பல் மின்னோட்டம் — Saw tooth current
ரம்பப்பல் மின்னழுத்தம் — Saw tooth voltage
ராடார் வானியல் — Radar Astronomy
ரேடியோ — Radio
ரேடியோ அடிவானம் — Radio Horizon
ரேடியோ அடிப்பெருக்கி — Radio frequency amplifier
ரேடியோ அஞ்சல் — Radio relay
ரேடியோ வழிப்படுத்துதல் — Radio navigation
ரேடியோ வானியல் — Radio Astronomy

ல

லெஹர் கம்பிகள் — Lecher wires
லெக்லான்சி மின்கலம் — Leclanche cell
லேசர் — Laser

வ

வகை — Case
வடிப்பான் — Filter
வரையறை — Definition
வரை படம் — Graph
வட்டம் — Circle
வடிவ அமைப்பு — Pattern
வரிக் கண்ணோட்டம் — Scanning
வரிசைகள் — Arrays
வலிமை, செறிவு — Intensity
வளைகோடு — Contour
வளர் மின்னழுத்தம் — Sweep voltage
வளைவு — Curvature
வான அலை — Sky wave
வாய்க்கால் — Channel
வால்மீன்கள் — Comet
வாய்பாடு — Formula
வானியல் சராசரி சூரியன் — Astronomical mean sun
வான ஒளி விலகல் — Astronomical refraction
வான நெடுங்கோடு — Celestial longitude
வான அச்சு — Celestial axis
வான நடுவரை — Celestial equator
வாட்டம் — Gradient

விண்மீன் மண்டலம் — Constellation
விட்டம் — Diameter
வில் — Arc
விடிகான் — Vidicon
விண்மீன் திறள் — Cluster of stars
வீச்சுப் பண்பேற்றம் — Amplitude modulation
வீச்சுப் பண்பேற்றி — Amplitude
வெடி மீன்கள் — Explosive stars
வெற்றிடம் — Vacuum
வெப்ப மின்துகள் வெளியீடு — Thermionic Emission
வெளி அலை — Space wave
வெட்டு நிலை மின்னழுத்தம் — Cut - off bias
வெட்டு அதிர்வெண் — Cut - off Frequency
வோல்ட் — Volt
A - வகைப் பெருக்கி — Class 'A' Amplifier
n - வகைச் சிறிதே கடத்தி — n type semi conductor
P - வகைச் சிறிதே கடத்தி — p type semi conductor
T - வடிவ ஆன்டென்னா — T shaped Antenna
L - வடிவ ஆன்டென்னா (தலைகீழ்) — Inverted L Antenna
ஹம் — Hum
ஹென்ரி — Henry
ஜெர்மேனியம் — Germanium
ஹார்ட்லி அலையியற்றி — Hartley oscillator
ஹெக்சோடு — Hexode
ஹெப்டோடு — Heptode
ஹைஃபி — Hi—Fi
ஜெட் விமானம் — Jet plane
Q - கூற்றெண் — Q factor
ஷாட்கி விளைவு — Schoetky effect
ஸ்ட்ரேட்டாஸ்ஃபியர் — Startosphere

(ஆங்கிலம் — தமிழ்)

A

Abscissa — இடைத் (அச்சுத்) தூரம்
Absolute — லா
Absolute unit — லா அலகு
Absorption — வர்தல்
Accelerating voltage — மின் அழுத்தம்

Accumulator — சேமக்கலம்
A. C./D.C. Convertor — A. C./D. C. மாற்றி
A.C./.D.C. Receiver — A. C./D. C.
Accelerator — முடுக்கி
Acceptance — ஏற்பு
Acceptor — ஏற்பி
Admittance — மாறு மின் ஏற்பகம்
Aerial — ஏரியல்
A. F. Amplifier — செவியுறு அடுக்கப் பெருக்கி
A. F. Choke — செவியுறு அடுக்கச் சோக்
A. F. Transformer — செவியுறு அடுக்க மின்மாற்றி
Alternating current — மாறுதிசை மின்னோட்டம்
Alternator — திசை மாற்றி
Altimeter — உயரமானி
Altitude — குத்துயரம்
Altitude effect — குத்துயர விளைவு
Ammeter — அம் மீட்டர்
Ampere — ஆம்பியர்
Amplification — பெருக்கம்
Amplification factor — பெருக்கி எண்
Amplifier — பெருக்கி
Amplifier noise — பெருக்கி இரைச்சல்
Amplitude — வீச்சு
Amplitude modulation — வீச்சுப் பண்பேற்றம்
Amplitude modulator — வீச்சுப் பண்பேற்றி
Angle — கோணம்
Angle of elevation — ஏற்றக் கோணம்
Angle of the centre — மையக்கோணம்
Anode — நேர் மின் வாய்
Annular — வளைவடிவமான
Anode characteristics — நேர் மின்வாய்த் தனிப்பண்புகள்
Anode D. C. Voltage — நேர் மின்வாய் ஒரு திசை மின்னழுத்தம்
Anomaly — நெறிப் பிறழ்ச்சி
Antenna — ஆன்டென்னு
Anticlock wise — இடஞ்சுழியாக
Anti cathode — மாற்று எதிர்வாய்
Antinode — எதிர்க்கணு
Apex — உச்சி, சிகரம்
Aphelion — பூமியின் சேய்மைநிலைத் தூரம்

Apogee — ஞாயிற்றின் சேய்மைநிலை
Arc — வில்
Aerial velocity — பரப்பளவு திசைவேகம்
Arrays — வரிசைகள்
Assumption — தற்கோள்
Asteroid — சிறுகோள்
Astronomical mean sun — வானியல் சராசரி சூரியன்
Astromical refraction — வான ஒளி விலகல்
Astronomy — வானியல்
Assymmetrical — சமச்சீரில்லாத
Asymtode — ஈற்றணுகி
Atom — அணு
Atomic number — அணு எண்
Atomic structure — அணு அமைப்பு
Atomic weight — அணு எடை
Atmosphere — வளி மண்டலம்
Atmospherics — வளி மின் குழப்பங்கள்
Attenuator — மெலிப்பான்
Attraction — கவர்ச்சி
Audio frequency — செவியுறு அடுக்கம், செவியுறு அதிர்வெண்
Aurora borealies — துருவ ஒளி
Automatic volume control — தானியங்கு முழக்க ஆட்சி
Auto correlation — தற்றொடர்பாக்கம்
Average — சராசரி
Axial line — அச்சுக் கோடு
Axis — அச்சு
Azimuth — திசைச் சார்பான
Azimuth of star — ஒரு விண்மீனின் திசையில்

B

Bad conductor — அரிதில் கடத்தி
Band — அலைவரிசை
Band system — பட்டைத் தொகுதி
Band width — பட்டை அகலம்
Barrier — தடுப்பு
Barrier potential — தடுப்பு மின்னழுத்தம்
Base — அடிவாய்
Base angle — அடிக்கோணம்
Base of transistor — டிரான்சிஸ்டர் அடிவாய்

| | | |
|---|---|---|
| Battery | — | மின்கல அடுக்கு |
| Beam voltage | — | கற்றை மின்னழுத்தம் |
| Bias voltage | — | ஒரு சார்பு மின்னழுத்தம் |
| Block diagram | — | தொகுப்புப் படம் |
| Blue | — | நீலம் |
| Boundless | — | எல்லையற்ற |
| Bound electron | — | கட்டுண்ட எலெக்ட்ரான் |
| Boundary surface | — | எல்லை மேற்பரப்புகள் |
| Blocking oscillator | — | தடை அலைவியற்றி |
| Boundary condition | — | எல்லை நிபந்தனை |
| Box loop antenna | — | பெட்டிச் சுற்று வடிவ ஆன்டென்ன |
| Bridge stabilised oscillator circuit | — | சமன அமைப்பு |
| Brightness | — | பொலிவு |
| Broadcast | — | பரப்பு |
| By pass | — | மாற்று வழி |
| By pass condenser | — | மாற்று வழி மின் தேக்கி |

C

| | | |
|---|---|---|
| Cable | — | கேபிள் |
| Cable (co-axial) | — | பொது அச்சுக் கேபிள் |
| Canals on Mars | — | செவ்வாயின் கால்வாய்கள் |
| Capacitance | — | மின்தேக்குத் திறன் |
| Capacitative coupling | — | மின்தேக்கி இணைப்பு |
| Capacitative current | — | மின்தேக்கி மின்னோட்டம் |
| Capacitative reactance | — | மின்தேக்கி மறுப்பு |
| Capacity | — | மின்தேக்குத் திறன் |
| Camera | — | கேமிரா |
| Carbon resistance | — | கரித்தூள் மின் தடை |
| Carrier wave | — | ஊர்தி அலை |
| Cathode | — | எதிர்மின்வாய் |
| Cathode ray | — | எதிர்மின் கதிர் |
| Cathode ray tube | — | எதிர்மின் கதிர்க் குழாய் |
| Case | — | வகை |
| Cavity | — | உட்குழிவு, பொந்து |
| Cavity resonator | — | பொந்து ஒத்ததிர்வி |
| Celestial axis | — | வான அச்சு |
| Celestial longitude | — | வான நெடுங்கோடு |

| | | |
|---|---|---|
| Celestial equator | — | வான நடுவரை, வானம ரேகை |
| Centrifugal force | — | மைய விட்டோடும் விசை |
| Centripetal force | — | மைய நோக்கு விசை |
| Centroid | — | திணிவு மையம் |
| Central orbit | — | மையச் சுற்றுப்பாதை |
| Charecteristic independance | — | சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு |
| Channel | — | வாய்க்கால் |
| Charge | — | மின்னூட்டம் |
| Charge density | — | மின்னூட்ட அடர்த்தி, மின்னூட்டச் செறிவு |
| Charge distribution | — | மின்னூட்டப் பகிர்வு |
| Charged conduetor | — | மின்னூட்ட முற்றக்கடத்தி |
| Choke | — | சோக் |
| Chord | — | நாண் |
| Chromatron | — | குரோமெட்ரான் |
| Chromosphere | — | செந்நிறப்புரை |
| Circle | — | வட்டம் |
| Circuit | — | சுற்று |
| Circumference | — | பரிதி |
| Collector | — | ஏற்புவாய் |
| Collector junction | — | ஏற்புவாய்ச் சந்தி |
| Class-A amplifier | — | A-வகைப் பெருக்கி |
| Clipping circuit | — | கத்தரிக்கும் சுற்று |
| Closed circuit | — | முற்றுச் சுற்று |
| Cluster of stars | — | விண்மீன் திரள் |
| Co altitude | — | இணையேற்றம் |
| Co axial cylinder | — | ஓரச்சு உருளை |
| Co axially | — | ஓரச்சாக |
| Coefficient of coupling | — | இணைப்பு எண் |
| Coil | — | சுருள் |
| Coincide | — | பொருந்து |
| Collision | — | மோதுகை |
| Colour television | — | வண்ணத் தொலைக்காட்சி |
| Colpitt oscillation | — | கால்பிட் அலைவியற்றி |
| Column | — | பத்தி |
| Comet | — | வால் மீன் |
| Common axis | — | பொது அச்சு |

Common base configuration — பொது அடிவாய்ச் சுற்று அமைப்பு
Common collector configuration — பொது ஏற்பு வாய்ச் சுற்றமைப்பு
Common emittor configuration — பொதுக் கொடைவாய்ச் சுற்றமைப்பு
Common potential — பொது மின்னழுத்தம்
Commutator — திசைமாற்றம்
Complementary — நிரப்புகின்ற
Complex variable — பல் கூட்டு மாறி
Complex number — பல் கூட்டு எண்
Component — கூறு
Compound — கூட்டுப் பொருள்
Compound wound motor — கூட்டுச் சுற்று மோட்டார்
Computor — எண்ணி
Concave — குழியான
Conclusion — முடிவு
Concurrence — சந்திப்பு
Concyclic — ஒரே பரிதியில் உள்ள
Conjugate — இணை
Conjunction — ஒரு திசைநிலை
Conjunction inferior — ஒரு திசைநிலை அண்மை
Conjunction superior — ஒரு திசைநிலைச் சேய்மை
Contour — வரைகோடு
Correction — திருத்தம்
Cosine — கிடக்கை
Condenser — மின் தேக்கி
Conduction current — கடத்தல் மின்னோட்டம்
Conductor — கடத்தி
Cone — கூம்பு
Contact potential — தொடுகை மின்னழுத்தம்
Control grid — கிரிடு
Constellation — விண்மீன் மண்டலம்
Convertor — மாற்றி

Corona — ஒளி வட்டம்
Coupling — இணைப்பு
Coulomb — கூலும்
Coupling condenser — இணைப்பு மின்தேக்கி
Coupled oscillator — இணைப்பு அலைவியற்றி
Crest — முகடு
Critical coupling — மாறுநிலைப் பிணைப்பு
Critical voltage — மாறுநிலை மின்னழுத்தம்
Critical load — மாறுநிலைத் தடை
Crystal — படிகம்
Crystal oscillator — படிக அலைவியற்றி
Cube — கன சதுரம்
Current density — மின்னோட்டச் செறிவு
Curvature — வளைவு
Cut-off bias — வெட்டு மின்னழுத்தம்
Cut-off frequency — வெட்டு அதிர்வெண்
Cut-off voltage — வெட்டுநிலை மின்னழுத்தம்
Cycle — சுற்று
Cylinderical condenser — உருளை வடிவ மின்தேக்கி

D

Dark nebula — கரிய விண்மீன் குழாய்
Data — விவரங்கள்
Decibel — டெசிபல்
De-coupling — இணைப்பு நீக்கம்
Declination — சரிவுக்கோணம்
Definition — வரையறை
Degree — கோணம்
De-modulation — அலைப் பண்பிறக்கம்
Density — செறிவு, அடர்த்தி
Decimal — தசமம்
Denser medium — அடர்மிகு ஊடகம்
Depression — இறக்கம்
Depth of modulation — பண்பேற்று நெடுக்கம்

Detector — பகுப்பான்
Detection — பகுத்தல்
Device — கருவி
Deviation — திசைமாற்றம், விலக்கம்
Dial — குறியீட்டுத் தட்டு
Diagonal — மூலைவிட்டம்
Di-electric constant — மின் கடத்தாப் பொருள் மாறிலி
Diameter — விட்டம்
Dielectrics — மின் கடத்தாப் பொருளியல்
Digit — இலக்கம்
Dimension — பரிமாணம்
Diode — டையோடு
Dip — தாழ்வுக்கோணம்
Dipole — இருமுனை
Dipole areal — இருமுனை ஏரியல்
Direct current — ஒரு திசை மின்னோட்டம்
D. C. Voltage — ஒரு திசை மின்னழுத்தம்
Directional property — திசையியல்பு
Directivity — நெறிப்படுத்துத் திறன்
Discharge — மின்னிறக்கம்
Disc — தட்டு
Discontinuity — தொடர்ச்சியின்மை
Discrete — தனித்தனியான
Dispersion — பரவுகை
Displacement current — பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்
Distorted image — உருக்குலைந்த பிம்பம்
Distribution — பங்கீடு
Divided circuit — பிரித்த சுற்று
Donar, Donar atom — கொடையணு
Doppler effect — டாப்ளர் விளைவு
Dynamic charcteristics — இயற்கைப் பண்பியல் கோடுகள்
Dry cell — பசை மின்கலம்
Dwarfs — குறுமீன்கள்

## E

Earthed — தரை இணைப்புற்ற
Echo — எதிரொலி
Eclipse — கிரகணம்
Edison effect — எடிசன் விளைவு
Edge effect — ஓர விளைவு, விளிம்பு விளைவு
Effective area — செயலுறு பரப்பு
Efficiency — இயக்கு திறம், பயனுறு திறன்
Electric charge — மின்னூட்டம்
Electric connection — மின் இணைப்பு
Electric field — மின் புலம்
Electric flux — மின் பாயம்
Electric force — மின் விசை
Electric fuse — மின் உருகி
Electric generator — மின்னேற்றி
Electric potential — மின்னழுத்தம்
Electric spark — மின் பொறி
Electrical capacity — மின் தேக்குத்திறன்
Electrical conduction — மின் கடத்தல்
Electrical filter — மின் வடிப்பான்
Electrically neutral — மின் நடுநிலையான
Electric power — மின் திறன்
Electric pulse — மின் துடிப்பு
Electrolytic condenser — மின்னாற் பகுப்பு மின்தேக்கி
Electro-magnet — மின் காந்தம்
Electro-magnetic effect — மின்காந்த விளைவு
Electro-magnetic radiation — மின்காந்தக் கதிர்வீச்சு
Electro-magnetic wave — மின்காந்த அலை
Electrode — மின்வாய்
Electro-motive force — மின்னியக்கு விசை
Electron — எலெக்ட்ரான்
Electron cloud — எலெக்ட்ரான் மேகம்
Electron density — எலெக்ட்ரான் செறிவு
Electron volt — எலெக்ட்ரான் ஓல்ட்

Electron hole — எலெக்ட்ரான் துளை
Electron capture — எலெக்ட்ரான் பிடிப்பு
Electron multiplier — எலெக்ட்ரான் பெருக்கி
Element — தனிமம்
Elementary particles — அடிப்படைத் துகள்கள்
Elevation — ஏற்றம்
Ellipse — ஓரை வட்டம், நீள்வட்டம்
Emittar — கொடைவாய்
Empirical — அனுபவ
Encounter — எதிர்ப்படுதல்
End correction — முனைத் திருத்தம்
Energy — ஆற்றல்
Energy level — ஆற்றல் மட்டம்
Epi centre — மேன் மையம்
Epi cycle — மேன் வட்டம்
Equation — சமன்பாடு
Equator — மத்தியக்கோடு
Equilibrium — சமநிலை
Equipment — சாதனம்
Equinox — சம இரவுப் புள்ளி
Equivalent circuit — இணை மாற்றுச் சுற்று
Explosive stars — வெடி மீன்கள்
External circuit — புறச் சுற்று
External resistance — புறவியல் தடை
Exterior — புறத்துள்ள

F

Factor — காரணி
Fading — மங்குதல்
Farad — ஃபாரட்
Feed back — மின்னூட்டம்
Feed back amplifier — மின்னூட்டப் பெருக்கி
Feeder line — ஊட்டக் கம்பி
Field coil — புலச் சுருள்

| | | |
|---|---|---|
| Field intensity | — | புல வலிமை |
| Filament | — | ஃபிலமன்ட் |
| Filter | — | வடிகட்டி |
| Filter-band pass | — | வடிகட்டி அதிர்வெண் பட்டை |
| Filter circuit | — | வடிச் சுற்று |
| Filter high pass | — | வடிகட்டி-நிறை அதிர்வெண் |
| Filter low pass | — | வடிகட்டி-குறை அதிர்வெண் |
| Finite | — | முடிவுள்ள |
| Flip-flop circuit | — | எழு விழுச் சுற்று |
| Fluctuation | — | ஏற்ற இறக்கம் |
| Fixed condenser | — | நிலை மின்தேக்கி |
| Fixed resistance | — | நிலைமின் தடை |
| Flat loop antenna | — | தட்டைச் சுற்று வடிவ ஆன்டென்ஞ |
| Flourescence | — | ஒளிர்தல் |
| Flourescent screen | — | ஒளிர் திரை |
| Fly back voltage | — | விரைந்து மீள் மின்னழுத்தம் |
| Foci | — | குவியங்கள் |
| Formula | — | வாய்பாடு |
| Fraction | — | பின்னம் |
| Free vector | — | தன்வய வெக்டர் |
| Frame | — | வரம்புச் சட்டம் |
| Frequency | — | அடுக்கம், அதிர்வெண் |
| Frequency changer | — | அடுக்கமாற்றிக் குழாய் |
| Frequency modulation | — | அடுக்கப் பண்பேற்றம் |
| Full wave rectifier | — | முழு அலைத் திருத்தி |
| Function | — | சார்பலன் |

## G

| | | |
|---|---|---|
| Galactic equator | — | அண்ட நடுவரை |
| Galvanometer | — | மின்னோட்டமானி, கால்வஞமீட்டர் |
| Galaxy | — | அண்டம் |
| Galaxy extra Galactic | — | அண்டத்திற்கப்பால் |

Gemini — மிதுனம்
Generator — இயற்றி
Geodesic line — புவியின் மேற்பகுதிக் கோடு
Germanium — ஜெர்மானியம்
Giant stars — மிகப் பெரிய விண்மீன்கள்
Good conductor — நற்கடத்தி
Glow — பொலிவு
Gravitation — ஈர்ப்பு
Gradient — சரிவு வாட்டம்
Graph — வரைபடம்
Green — பச்சை
Great Bear — பெருங்கரடி மண்டலம்
Grid — கிரிடு
Ground Radar — தரை ராடார்
Ground wave — தரை அலை
Groups — கூட்டங்கள்
Growth of current — மின்னோட்ட வளர்ச்சி

H

Half wave rectifier — அரை அலைத்திருத்தி
Heartley oscillator — ஹார்ட்லி அலையியற்றி
Hemisphere — அரைக்கோளம்
Heptode — ஹெப்டோடு
Heterogeneous — பலபடித்தான
Heterodyning — கலக்கிப் பிரித்தல்
Hexode — ஹெக்சோடு
High tension battery — உயர் அழுத்த பாட்டரி
Hole — துளை
Homogeneous — ஒரு படித்தான
Horizon — அடிவானம்
Horizontal — கிடைமட்டம்
Horizontal component — கிடைக் கூறு
Horizontal intensity — கிடைச் செறிவு
Horizontal plane — கிடைத் தளம்

Horizontal deflector — கிடை விலக்கிகள்
Hyperbola — அதிபரவளையம்
Hypothesis — எடுகோள்

I

I. F. amplifier — இடைநிலை அடுக்கப் பெருக்கி
I. F. Transformer — இடைநிலை அடுக்க மின்மாற்றி
Identical — சர்வசமம்
Illuminating power — ஒளியூட்டுத் திறன்
Illumination — ஒளியூட்டம்
Illustration — எடுத்துக்காட்டு
Image — பிம்பம்
Imaginary — கற்பனையான
Impedance — மின்னெதிர்ப்பு
Impenetrable — புகவிடாத
Indicator — காட்டி
Incident — படுகை
Indigo — கருநீலம்
Index — குறிகாட்டி
Inclination — சாய்வு
Independent — சார்பற்ற
Induced charge — தூண்டப்பட்ட மின்னூட்டம்
Induced E. M. F. — தூண்டு மின்னியக்கு விசை
Inductance — மின் நிலைமம்
Inductive reactance — மின் நிலைம மின் மறுப்பு
Infinite — எண்ணிலா
Infinity — எண்ணிலி
Inlet — அகவாய்
Input — உள்ளிடு அளவு
Input resistance — உள்ளிடு தடை
Input voltage — உள்ளிடு மின்னழுத்தம்
Insulation — காப்பு
Insulator — காப்பான்
Instantaneous frequency — உடனுறு அடுக்கம்

Integral — தொகு
Intensity — செறிவு
Intermediate frequency — இடைநிலை அடுக்கம்
Interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
Integrated circuit — தொகுத்தச் சுற்று
Integrating circuit — தொகு சுற்று
Integration — தொகு ஆக்கம்
Inter communication — உள் தொடர்பு
Intermediate phase — இடைநிலைக் கட்டம்
Interpolation — இடைச் செருகல்
Invariance — மாற்றமின்மை
Inverse — எதிர்மடி
Inverse square law — தலைகீழ் வர்க்க விதி
Ion — அயனி
Ionisation — அயனியாக்கம்
Ionosphere — அயன மண்டலம்
Ionospheric absorption — அயன மண்டலக் கிரகிப்பு
Isotropic — திசையொப்புப் பண்பியலான

## J

Jet — ஜெட்
Jockey — தொடுகோல்
Junction — சந்தி
Jupiter — வியாழன்

## K

Kennelly-Heaviside Layer — கென்னெலி - ஹெவிசைடு அடுக்கு
Kepler's Laws — கெப்லரின் விதிகள்
Kilogram — கிலோ கிராம்
Kenotron — கிேனாட்ரான்
Kerr-effect — கெர் விளைவு
Kilo cycle — கிலோச் சுற்று
Kilometer — கிலோ மீட்டர்

Klystron — கிளாஸ்ட்ரான்
Knole — குமிழ்

## L

Lagging — பின் தங்கல்
Laser — லேசர்
Lateral — பக்கத்திற்குரிய
Latitude — அட்சரேகை
Law — விதி
Layer — அடுக்கு
Leakage — கசிவு
Leakage inductance — கசிவு மின் நிலைமம்
Leakage resistance — கசிவு மின் தடை
Lecher wires — லெஹர் கம்பிகள்
Libration — அசைவு
Limit — எல்லை
Light sensitive property — ஒளியுணர் பண்பு
Light year — ஒளியாண்டு
Linear time base — நேர்கோட்டுக் கால வடி
Local action — உள்ளிட நிகழ்ச்சி
Locking circuit — பூட்டும் சுற்று
Longitude — தீர்க்கரேகை
Loop Antenna — சுற்று வடிவ ஆன்டென்னு
Lower side band — குறைந்த அடுக்கத் துணைப் பட்டை
Low tension battery — குறைந்த மின்னழுத்த பாட்டரி
Luminous point — ஒளிரும் புள்ளி
Lunar parallax — சந்திர இடமாற்றுத் தோற்றம்

## M

Magnet — காந்தம்
Magnetic effect — காந்த விளைவு
Magnetic field — காந்தப் புலம்
Magnetic storm — காந்தப் புயல்

Magnetic induction — காந்தத் தூண்டல்
Magnetron — மாக்னெட்ரான்
Major axis — நெட்டச்சு
Magnitude — அளவு
Mars — செவ்வாய்
Maser — மேசர்
Mass — நிறை
Master oscillator — ஆளுகை அலையியற்றி
Matching — பொருத்தம்
Matter — பொருள்
Maximum — பெருமம்
Mean — சராசரி
Meg-ohm — மெக்-ஓம்
Mercury — புதன்
Meridian — உச்சி வட்டம்
Metal rectifier — உலோகத் திருத்தி
Meteor — எரி மீன்
Meteorites — எரி கற்கள்
Mho — மோ
Mica — மைக்கா
Microampere — மைக்ரோ ஆம்பியர்
Micro-Farad — மைக்ரோ ஃபாரடு
Micro wave — மைக்ரோ அலை
Milky way — பால் வழி
Miller-effect — மில்லர் விளைவு
Milli-volt — மில்லி வோல்ட்
Million — பத்து இலட்சம்
Minimum — சிறுமம்
Minor-arc — சிறு வில்
Mixture — கலப்பி
Modulation — பண்பேற்றம்
Modulus — குணகம்
Moon — சந்திரன், நிலா
Multi vibrator — பல் அதிர்வி

Multi channel — பல் வழி
Multiplier — பெருக்கி
Mutual conductance — பரிமாற்றுக் கடத்தித் திறன்
Mutual inductance — பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்

N

Nebulae — விண்மீன் கூட்டம்
Negative — எதிர்
Negative charge — எதிர் மின்னூட்டம்
Negative voltage — எதிர் மின்னழுத்தம்
Negligible — தவிர்க்கத் தக்க
Neon lamp — நியான் விளக்கு
Net work — வலையமைப்பு
Node — கணு
Noise — இரைச்சல்
Non conductor — கடத்தாப் பொருள்
N-type junction — N-வகைச் சந்தி
Nova — ஒளிர் மீன்

O

Observation — காட்சிப் பதிவு
Obstacle — தடை
Octode — ஆக்டோடு
Oerstead — ஓர்ஸ்டெட்
Ohm — ஓம்
Omega — ஒமேகா
Open circuit — திறந்த சுற்று
Open end — திறந்த முனை
Orange — ஆரஞ்சு
Orbit — சுற்றுப்பாதை
Orthicon — ஆர்த்திகான்
Origin — ஆதி, தோற்றம்
Oscillation — அலைவு
Oscillator — அலையியற்றி

Oscillograph — ஆசிலோகிராஃப்
Oscilloscope — ஆசிலோஸ்கோப்
Outlet — விடுவாய்
Output — வெளிவரு அளவு

P

Padder — பேடர்
Pair — இணை
Pattern — அமைப்பு
Parabola — பரவளையம்
Parsec — பார்செக்
Parameter — சாராமாறி
Pentode — பென்டோடு
Percent — விழுக்காடு
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Perimeter — சுற்றளவு
Phase — கட்டம்
Phase change — கட்ட மாற்றம்
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Phase shift oscillator — கட்டப் பெயர்ச்சி அலையியற்றி
Phosphor dot trios — முக்கூட்டு ஒளிர்பொருட் புள்ளிகள்
Photo electricity — ஒளி மின்னியல்
Photo electrical effect — ஒளி-மின் விளைவு
Physics — இயற்பியல்
Picro farad — பைக்ரோ ஃபாரட்
Pick up — எடுப்பி
Plane electro magnetic waves — ஒரு தள மின்காந்த அலைகள்
Planet — கோள்
Planetary motion — கோளியக்கம்
Planetoids — சிறு கோள்கள்
Polar caps — துருவப் பரப்புகள்
Polaris — துருவ நட்சத்திரம்
Pole — துருவம்

Pole strength — முனை வலிமை
Potentiometer — மின்னழுத்தமானி
Potential — மின்னழுத்தம்
Potential difference — மின்னழுத்த வேறுபாடு
Power — திறன்
Power amplification — திறன் பெருக்கம்
Power gain — திறன் கூடுகை
Power pack — மின்னழுத்தக் கட்டு
Practical unit — நடைமுறை அலகு
Procession — அச்சுத் திசைமாற்றம்
Primary circuit — முதன்மைச் சுற்று
Progressive waves — முன்னேறு அலைகள்
Probagation — பரப்பல்
Pulsating current — துடிப்பு மின்னோட்டம்
Push-pull amplifier — தள்ளு-இழுப் பெருக்கி
P-type junction — P-வகைச் சந்தி

Q

Q-factor — Q-கூற்றெண்
Quality — பண்பு
Quantity — அளவு
Quartz — குவார்ட்ஸ்
Quenching — தணிக்கும்
Quiescent time — அமைதி நேரம்

R

Radar — ராடார்
Radar Astronomy — ராடார் வானியல்
Radial acceleration — ஆர முடுக்கம்
Radial magnetic field — ஆரக்கால் காந்தப் புலம்
Radial velocity — ஆரத்திசை வேகம்
Radiant energy — கதிர் வீச்சு ஆற்றல்
Radian — ரேடியன்
Radiation — கதிர்வீச்சு

Radio — ரேடியோ
Radio astronomy — ரேடியோ வானியல்
Radio frequency amplifier — ரேடியோ அடுக்கப்பெருக்கி
Radio horizon — ரேடியோ அடிவானம்
Radio navigation — ரேடியோ வழிப்படுத்துதல்
Radio wave — ரேடியோ அலை
Radius — ஆரம்
Radius of curvature — வளைவு ஆரம்
Reactance — மறுப்பு
Receiver — ஏற்பி
Reception — ஏற்பு
Rectifier — திருத்தி
Red — சிவப்பு
Reflecting power — எதிரொளிப்புத் திறன்
Reflction — எதிரொளிப்பு
Relaxation oscillator — தளரலையியற்றி
Relay — அஞ்சல்
Remote control — தொலைக் கட்டுப்பாடு
Resistance — தடை
Resistance capacity coupling — மின் தடை, மின் தேக்கி இணைப்பு
Rings of Saturn — சனியின் வளையங்கள்
Rotator — சுழலி
Rotation — சுழற்சி

S

Safe current — பாதுகாப்பு மின்னோட்டம்
Sagittarius — தனுசு
Sample — கூறு
Satellite — துணைக்கோள்
Saw tooth current — இரம்பப்பல் மின்னோட்டம்
Scaling circuit — அளவைச் சுற்று
Scorpio — விருச்சிகம்
Scanning — வரிக் கண்ணோட்டம், துருவுதல்

Schottky effect — ஷாட்கி-விளைவு
Scintillation — மினுமினுப்பு
Screen — திரை
Screen grid — திரை கிரிடு
Search coil — துருவுச் சுருள்
Season — பருவம்
Secant — சீகண்ட்
Secondary coil — துணைச் சுருள்
Secondary circuit — துணைச் சுற்று
Secondary waves — இரண்டாம் நிலை அலைகள்
Sector — வட்டப்பகுதி
Seebeck-effect — சிபெக்-விளைவு
Selectivity — தேர் திறன்
Semi-conductor — குறைக் கடத்தி, சிறிதே கடத்தி
Self-inductance — தனி மின் நிலைம எண்
Sensitivity — உணர்வு நுட்பம்
Series grouping — தொடர்பு இணைப்பு
Shadow mask tube — நிழல் மூடிக் குழாய்
Short circuit — குறுக்குச் சுற்று
Short wave — குற்றலை
Side band — பக்கப் பட்டை
Sidereal — மீன்வழி
Signal — குறி, சைகை
Signs of the zodiac — ராசிகளின் அடையாளம்
Sine curve — சைன் வளைகோடு
Skip distance — தாவு தூரம்
Sky wave — வானலை
Solar flares — சூரிய தீக்கொழுந்துகள்
Solid angle — திண்மக் கோணம்
Source — மூலம்
Space — அண்டவெளி
Space charge — சூழ் மின்னூட்டம்
Space wave — வெளி அலை
Spark gap — மின்பொறி வெளி

| | | |
|---|---|---|
| **Specific resistance** | — | மின்தடை எண் |
| **Speed** | — | வேகம் |
| **Speed of rotation** | — | சுழல் வேகம் |
| **Sphere** | — | கோளம் |
| **Spin** | — | சுழல் |
| **Spiral** | — | சுருள் வில் வடிவ |
| **Square law** | — | இருமடி விதி |
| **Standard condenser** | — | படித்தர மின்தேக்கி |
| **Standing wave** | — | நிலை அலை |
| **Standard resistance** | — | படித்தர மின்தடை |
| **Star** | — | விண்மீன் |
| **Static characteristics** | — | நிலையியல் தனிப் பண்புகள் |
| **Step-up transformer** | — | ஏற்று மின் மாற்றி |
| **Stratosphere** | — | ஸ்ட்ராட்டாஸ்ஃபியர் |
| **Sun chromosphere** | — | சூரிய செந்நிறப்புரை |
| **Sun corona** | — | சூரிய ஒளிவட்டம் |
| **Sun cycle** | — | சூரியக் காலவட்டம் |
| **Sun photosphere** | — | சூரிய ஒளிப்புரை |
| **Sun prominences** | — | சூரிய சுடர்க் கொழுந்துகள் |
| **Sun spot** | — | சூரியப் புள்ளி |
| **Super giant stars** | — | மீப்பெரு விண்மீன்கள் |
| **Super hetrodyne** | — | கலக்கிப்பிரித்தல் |
| **Supersonics** | — | செவி உணரா ஒலிகள் |
| **Suppressor grid** | — | அடக்கு கிரிடு |
| **Surge** | — | எழுச்சி |
| **Sweeping circuit** | — | விரைவுச் சுற்று |
| **Switch** | — | சுவிட்சு |

T

| | | |
|---|---|---|
| **Tank circuit** | — | தொட்டிச் சுற்று |
| **Tap key** | — | தட்டுச் சாவி |
| **Target** | — | இலக்கு |
| **Taurus** | — | காளை |
| **Technique** | — | உத்தி, தொழில் நுட்பம் |